



Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de

Electrónica y Telecomunicaciones

“Desarrollo de una simulación para el control de una estación de carga modo 3 en CA para vehículos eléctricos”

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
en Electrónica y
Telecomunicaciones*

Autores:

David Alfredo Llivicura Arias
dllivicuraarias@hotmail.com

C.I. 0104034160

Frank Leonel Torres Aguilar
metallica-frank@hotmail.com

C.I. 0705322311

Director:

Ing. Luis Gerardo González Morales, Ph.D.

C.I. 1729711059

CUENCA – ECUADOR

23 de marzo de 2021

Resumen

Este trabajo de titulación abarca una modelación de un sistema de control de una estación de carga modo 3 bajo el estándar IEC 61851-1 en corriente alterna para vehículos eléctricos. La simulación hace uso de herramientas de software libre, además se simula el proceso de comunicación de la estación de carga con el vehículo eléctrico para llegar a cargar las baterías de éste, la simulación también presenta un sistema de validación y cobro a los usuarios que deseen realizar una carga a su vehículo eléctrico mediante el uso de tecnología RFID y a través de una interfaz gráfica. Toda la información acerca de cada recarga que se haga estará almacenada en un servidor web gratuito en Internet y también en un servidor local como método de respaldo en caso de que la estación carezca de un lugar que no tenga acceso a Internet. Cabe mencionar que este servidor tendrá una base de datos para respaldar toda la información necesaria como historial de carga que se hayan hecho en la estación. El servidor web en Internet estará basado en el protocolo que tienen las estaciones de carga actualmente conocido como OCPP, el servidor web tendrá una interfaz para que los usuarios puedan acceder a su información personal, así como historial de carga, saldo, búsqueda de estación de carga disponible en un área geográfica determinada, capacidad para gestionar múltiples estaciones, validación de datos para permitir transacciones, visualización de información en tiempo real en navegadores web, gestión de tarjetas y transacciones. Posterior al proceso de simulación se realizó un prototipo de estación de carga modo 3 bajo el estándar IEC 61851-1 a 43 kW, la infraestructura de la estación de carga permite que esta sea ubicada en lugares públicos. Como elementos de seguridad la estación cuenta con botón de emergencia para detener la carga del VE, conexiones a tierra de todo el sistema eléctrico e interruptor diferencial. La infraestructura de la estación además permite que sea escalable es decir que un futuro se pueda colocar otro sistema de carga con su respectivo conector de carga y así cargar dos vehículos eléctricos de forma simultánea.

Además, se realiza un estudio de infraestructuras de carga en modo 3, que se les denomina comúnmente como estaciones de carga semi-rápida en AC bajo el estándar IEC 61851-1 mientras que las estaciones de carga rápida, las cuales trabajan en DC, están agrupadas bajo el modo 4 de la IEC 61851-23.

Con el objetivo de brindar seguridad a la estación se simularon varios casos en los que se podría presentar condiciones no seguras al momento de realizar la carga del vehículo eléctrico.

Finalmente, se implementa un protocolo de comunicación entre la estación de carga y un servidor, similar al protocolo de comunicación OCPP, almacenado en la plataforma de aplicación como servicio Heroku. Este servidor tiene capacidad para gestionar múltiples estaciones, validación de datos para permitir transacciones, visualización de información en tiempo real en navegadores web y gestión de datos como usuarios, tarjetas, transacciones.



Palabras Clave: Vehículo Eléctrico, Modo 3, Estación de carga de VE, RFID, OCPP, Interruptor diferencial, Raspberry Pi, Módulo Relé, IEC, SAE, IEC, 61851, IEC 62196.

Abstract

This work covers a modeling of a mode 3 charging station control system under the IEC 61851-1 standard in alternating current for electric vehicles. The simulation makes use of free software tools, the communication process of the charging station with the electric vehicle is simulated in order to charge its batteries, the simulation also presents a validation and payment system to users who wish charge your electric vehicle using RFID technology and through a graphical interface. All the information about each recharge made will be stored on a free web server on the Internet and also on a local server as a backup method in case the station does not have a place that does not have Internet access. It is worth mentioning that this server will have a database to support all the necessary information such as load history that have been made in the station. The web server on the Internet will be based on the protocol that charging stations currently have known as OCPP, the web server will have an interface so that users can access their personal information, as well as charging history, balance, search for a charging station. available load in a given geographic area, ability to manage multiple stations, data validation to allow transactions, real-time information display in web browsers, card and transaction management. After the simulation process, a mode 3 charging station prototype was made under the IEC 61851-1 standard at 43 kW, the infrastructure of the charging station allows it to be located in public places. As safety elements, the station has an emergency button to stop EV charging, ground connections for the entire electrical system and a differential switch. The infrastructure of the station also allows it to be scalable, that is to say that in the future another charging system can be placed with its respective charging connector and thus charge two electric vehicles simultaneously.

A study of charging infrastructures is carried out in mode 3, which are commonly referred to as semi-fast charging stations in AC under the IEC 61851-1 standard, while fast charging stations, which work in DC, are grouped under mode 4 of IEC 61851-23.

To provide security to the station, several cases were simulated in which unsafe conditions could occur when charging the electric vehicle.

Finally, a communication protocol is implemented between the charging station and a server, similar to the OCPP communication protocol, stored in the application platform as a Heroku service. This server has the capacity to manage multiple stations, data validation to allow transactions, display of information in real time in web browsers and data management such as users, cards, transactions, etc.

Keywords: . Electric Vehicle, Mode 3, EV Charging Station, RFID, OCPP, RCD, Raspberry Pi, Relay Module, IEC, SAE, IEC, 61851, IEC 62196.



Índice General

ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	12
DEDICATORIA 1.....	13
DEDICATORIA 2.....	19
AGRADECIMIENTOS 1.....	20
AGRADECIMIENTOS 2.....	21
ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS	22
CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN	23
1.1 INTRODUCCIÓN	23
1.2 ANTECEDENTES	24
1.3 ALCANCE	25
1.4 OBJETIVOS.....	25
1.4.1 Objetivo General	25
1.4.2 Objetivos Específicos	25
1.5 METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	26
CAPÍTULO 2 : ESTADO DEL ARTE	27
2.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	27
2.2 ESTADO ACTUAL DE LAS ESTACIONES DE CARGA.....	28
2.3 ORGANISMOS DE ESTANDARIZACIÓN EN EL ÁMBITO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	29
2.3.1 IEC 61851-1 (Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos).....	29
2.3.1.1 Requisitos generales	30
2.3.1.2 Aislamiento.....	30
2.3.1.3 Cable de carga	30
2.3.1.4 Circuito piloto de control.....	31
2.3.1.5 Punto de conexión entre VE e instalación eléctrica	31
2.3.1.6 Utilización en exterior.....	31
2.3.1.7 Montado sobre el suelo	31
2.3.1.8 Usuario	31
2.3.1.9 Conductor de puesta a tierra de protección	31
2.3.1.10 Dispositivo de corriente residual	31
2.3.1.11 Corriente de fuga	31
2.3.1.12 Dispositivo de conmutación.....	32
2.3.2 IEC 62196-2 (Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos.).....	32
2.3.2.1 Conector trifásico de 63 A, 480 VCA	32
2.3.3 SAE J1772.....	33
2.4 ESTÁNDARES DE INTEGRACIÓN A LA RED DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	33



2.4.1 IEEE 1547 (Estándar IEEE para interconexión e interoperabilidad de recursos energéticos distribuidos con interfaces de sistemas de energía eléctrica asociados)	33
2.4.2 Normas UL	34
2.5 ESTÁNDARES DE SEGURIDAD DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	34
2.5.1 Estándares NFPA (Asociación nacional de protección contra el fuego)	34
2.5.2 Estándares NEC (Código Eléctrico Nacional)	34
2.5.2.1 NEC 625 (Sistemas de equipos de suministro y carga de vehículos eléctricos)	35
2.5.2.2 NEC 626 (Espacios de estacionamiento de VE)	35
2.5.3 IEC 60364-7-722 (Infraestructura de conexión de carga)	35
2.5.4 Seguridad de protección contra el choque eléctrico	35
2.6 MODO DE CARGA DE LOS VE	36
2.6.1 Modo 1 de Carga	36
2.6.2 Modo 2 de Carga	36
2.6.3 Modo 3 de Carga	37
2.6.4 Modo 4 de Carga	37
2.7 TIPOS DE CONECTORES DE CARGA EN VE	37
2.7.1 Conector Europeo IEC 62196 Tipo 2	39
2.7.2 Conector GB/T 20234.2	40
2.8 COMUNICACIÓN ENTRE EL VE Y LA ESTACIÓN DE CARGA.	40
2.8.1 Estados de comunicación entre el VE y la estación de carga mediante la señal piloto	41
2.8.2 Ciclo de trabajo	42
2.9 INFRAESTRUCTURA DE CARGA DE VE	43
2.9.1 Infraestructura de energía en la carga de vehículos eléctricos	44
2.9.2 Control y comunicación en infraestructuras de carga de VE	45
2.9.2.1 Coordinación de carga	45
2.9.2.2 Red de comunicación para la carga de vehículos eléctricos	46
2.10 INFRAESTRUCTURA FÍSICA DE ESTACIÓN DE CARGA SEMI-RÁPIDA PARA VE EN CA.	47
2.10.1 Dimensiones de infraestructura de estaciones de carga	47
2.10.2 Estaciones de carga semi-rápida existentes en el mercado actual	49
2.10.3 Comparación de las estaciones de carga semi-rápida descritas en la sección anterior	54
2.11 INFRAESTRUCTURA FÍSICA DE ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA PARA VE EN CC	54
2.11.1 Estaciones de carga rápida en CC existentes en el mercado actual	57
2.11.2 Comparación de las estaciones de carga rápida descritas en la sección anterior	62
2.12 COMPARACIÓN DEL TIEMPO DE CARGA DE ACUERDO A LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍA EN LOS VE	62
2.13 OPEN CHARGE POINT PROTOCOL (OCPP)	65
2.13.1 OCPP v1.5	65
2.13.2 Protocolo de punto de carga abierto versión 1.6	66
CAPÍTULO 3 : SIMULACIÓN DE LA COMUNICACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CARGA CON UN VEHÍCULO ELÉCTRICO	68
3.1 MODO 3 DE CARGA	68
3.2 COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS PARA LA SIMULACIÓN	69
3.2.1 Arquitectura de la simulación	69
3.2.2 Raspberry Pi	70
3.2.3 Módulo Relé	71



3.2.4 Módulo RFID RC522	72
3.2.5 Convertidor USB a TTL.....	72
3.2.6 Convertidor RS485 a USB.....	73
3.2.7 Contactor EBS1C	74
3.2.8 Interruptor Diferencial.....	75
3.2.9 Interruptor (Breaker) Manual.....	75
3.2.10 Transformadores de Corriente.....	76
3.2.11 Medidor de Energía.....	76
3.3 SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN	77
3.3.1 Python.....	77
3.3.2 Qt Designer	78
3.3.3 MySQL.....	78
3.4 PROTOCOLO MODBUS	78
3.5 COMUNICACIÓN SERIAL.....	81
3.5.1 Bit de Inicio	83
3.5.2 Datos	83
3.5.3 Paridad.....	83
3.5.3 Bits de parada	83
3.5.3 Ejemplo de Transmisión por UART	84
3.6 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DEL CONTROL DE LA SIMULACIÓN.....	85
3.6.1 Configuraciones iniciales en la Raspberry Pi.....	85
3.6.2 Circuito de control piloto de acuerdo a la norma IEC 61851-1	88
3.6.3 Diagrama de flujo del control de simulación de la comunicación de una estación de carga.....	90
3.7 PRUEBAS DE LA SIMULACIÓN	92
3.7.1 Aspectos de seguridad para la simulación en la estación de carga	94
3.7.1.1 Nivel 1 de Seguridad.....	95
3.7.1.2 Nivel 2 de Seguridad.....	95
3.7.1.3 Diferencial.....	95
CAPÍTULO 4 : IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA BAJO EL MODO 3 PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	97
4.1 ESQUEMA GENERAL Y DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONTROL DEL PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA.....	97
4.2 CIRCUITO CONTROLADOR	98
4.3 DETECCIÓN DE PROXIMIDAD	102
4.3.1 Evaluación de la señal de Proximidad según GB/T 18487.1.....	103
4.4 CONTROL MEDIDOR ENERGÍA	103
4.5 BOTÓN DE EMERGENCIA.....	104
4.6 REALIMENTACIÓN DEL CONTACTOR.....	105
4.7 INTERFAZ GRÁFICA.....	106
4.7.1 Menú Bienvenida.....	106
4.7.2 Menú modo de carga	107
4.7.3 Menú información del proceso de carga	108
4.8 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	109
4.8.1 Pruebas en un vehículo eléctrico Kia Soul EV 2016.....	109
4.8.2 Pruebas en un vehículo BYD E5 400.....	110



4.9 INFRAESTRUCTURA FINAL DEL PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE CARGA	113
CAPÍTULO 5 : GESTIÓN DE ESTACIÓN A TRAVÉS DE SERVIDOR WEB	114
5.1 ESTRUCTURA Y GESTIÓN DE INFORMACIÓN.....	114
5.1.1 Información relevante para el sistema servidor-estaciones.....	114
5.1.2 Tablas y campos de la base de datos	115
5.2 COMUNICACIÓN ENTRE ESTACIÓN DE CARGA, SERVIDOR Y NAVEGADOR WEB.....	119
5.2.1 WebSocket.....	120
5.2.3 Modelo de chat para visualización de información en tiempo real.....	121
5.2.4 Eventos de WebSocket	122
5.2.5 Rutinas entre estación de carga, servidor y navegador web	123
5.3 IMPLEMENTACIÓN DE SERVIDOR.....	126
5.3.1 Herramientas para el desarrollo	127
5.3.1.1 Node js.....	127
5.3.1.2 Express	127
5.3.1.5 Passport.....	128
5.3.2 Estructura de la aplicación	128
5.4 SERVIDOR EN LA NUBE	130
5.4.1 Heroku.....	130
5.4.2 Almacenamiento de proyecto en la plataforma Heroku.....	132
5.5 PÁGINAS WEB PARA GESTIÓN	136
5.5.1 Páginas de administrador	137
5.5.2 Páginas de usuario.....	145
CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES	152
ANEXOS	153
A. Especificaciones del conector de carga de acuerdo a la norma IEC 62196-2.....	153
B. Tarjeta RFID de acceso al sistema de recarga para VE	153
BIBLIOGRAFÍA.....	154



Índice de figuras

Figura 2.1 Vehículo eléctrico sedán de la empresa BYD modelo e5 [2].....	27
Figura 2.2 Evolución de ventas de los vehículos eléctricos [1].	28
Figura 2.3 Dimensiones conector IEC 62196-2 [7].....	33
Figura 2.4 Conector IEC 62196 Tipo 2	39
Figura 2.5 Conector GB/T 20234.2 [15].	40
Figura 2.6 Circuito típico para comunicación entre el VE y la estación de carga de acuerdo al estándar IEC 61851-1 [16].	41
Figura 2.7 Infraestructura general de estaciones de carga [1].	44
Figura 2.8 Infraestructura energética en infraestructura de carga de VE [1].	45
Figura 2.9 Red de comunicación para carga de VE [1].....	46
Figura 2.10 Estación comercial con capacidad de doble carga a 43 kW/ 63 A.....	47
Figura 2.11 Vista Interior de una estación de carga a 43kW	48
Figura 2.12 Diagrama general de una estación de carga bajo el modo 3	49
Figura 2.13 Infraestructura de estación de carga rápida.....	55
Figura 2.14 Interior de una estación de carga rápida parte 1.....	56
Figura 2.15 Interior de una estación de carga rápida parte 2.....	56
Figura 2.16 Estación de carga rápida SICON	61
Figura 2.17 Intensidad y porcentaje de carga de un Nissan Leaf 24 kWh [33].	64
Figura 2.18 flujo de comunicación para la operación Autorizar [36].....	66
Figura 2.19 Diagrama de secuencia: ejemplo de inicio y detención de una transacción [37].	66
Figura 3.1 Esquema simple de carga bajo el Modo 3 [36].	68
Figura 3.2 Diagrama de bloques de la simulación.....	70
Figura 3.3 Raspberry Pi 3 Model B [38].....	71
Figura 3.4 Diagrama de pines de salida [39]	71
Figura 3.5 Dispositivo Relé de 2 Switch [40].	72
Figura 3.6 Módulo RFID RC522 [41].	72
Figura 3.7 Conversor USB a TTL [42].	73
Figura 3.8 Conversor USB a RS485 [43].	74
Figura 3.9 Contactor EBS1C [44].	74
Figura 3.10 Interruptor diferencial de 63 A marca CAMSCO [45].	75
Figura 3.11 Breaker Marca EBASSEE [47].	76
Figura 3.12 Transformador de corriente CAMSCO MFO [49].	76
Figura 3.13 Medidor de Energía SELEC [50].	77
Figura 3.14 Conexiones del Medidor de Energía [50].	77
Figura 3.15 Trama Modbus RTU [55].	79
Figura 3.16 Modbus PDU [55].	79
Figura 3.17 Comunicación serial entre dos dispositivos UART [56].	82
Figura 3.18 Estructura de un paquete para comunicación UART	83
Figura 3.19 Transmisión de datos por UART [56].	84
Figura 3.20 Adición de bits de inicio, paridad y parada [56].	84
Figura 3.21 Transmisión de datos por UART [56].	84
Figura 3.22 Recepción de la trama [56].	85



Figura 3.23 Recepción de los Datos [56].	85
Figura 3.24 Puertos disponibles en el dispositivo Raspberry	86
Figura 3.25 Herramientas de configuración de la Raspberry Pi	86
Figura 3.26 Configuración Serial	86
Figura 3.27 Inhabilitación del login shell.	87
Figura 3.28 Activación del puerto serial.	87
Figura 3.29 Archivo de configuración del reloj de la UART	87
Figura 3.30 Circuito control piloto	88
Figura 3.31 Simulación de las señales de comunicación entre estación de carga y VE [16].	90
Figura 3.32 Estados de comunicación de la señal control piloto en un VE Kia Soul EV 2016	90
Figura 3.33 Diagrama de flujo del proceso de simulación de comunicación Estación-VE	91
Figura 3.34 Diagrama de bloques para simulación de los estados de comunicación entre estación de carga y VE.	92
Figura 3.35 Simulador de las señales de comunicación de un VE y un EVSE.	93
Figura 3.36 Interfaz de bienvenida al usuario	93
Figura 3.37 Selección del modo de carga	94
Figura 3.38 Interfaz de la simulación del proceso de carga.	94
Figura 3.39 Tensiones desequilibradas [57].	95
Figura 3.40 Esquema interruptor diferencial [58].	96
Figura 4.1 Diagrama de flujo para el control del prototipo de estación de carga.	97
Figura 4.2 Esquema general del prototipo de estación de carga	98
Figura 4.3 Esquema de los puertos de salida que posee el controlador para el prototipo de la estación de carga.	100
Figura 4.4 Circuito control piloto y controlador.	101
Figura 4.5 Esquema de detección de proximidad 1	102
Figura 4.6 Esquema de detección de proximidad 2	102
Figura 4.7 Información del proceso de carga.	104
Figura 4.8 Circuito de botón de emergencia	104
Figura 4.9 Botón de emergencia	105
Figura 4.10 Circuito de seguridad de contactor.	105
Figura 4.11 Mensaje de falla en el sistema eléctrico.	106
Figura 4.12 Menú de bienvenida	107
Figura 4.13 Menú modo de carga.	107
Figura 4.14 Aviso de conexión del cargador.	108
Figura 4.15 Interfaz proceso de carga	109
Figura 4.16 Estación de carga con un vehículo eléctrico Kia Soul EV 2016.	110
Figura 4.17 Estación de carga con un vehículo eléctrico BYD E5 400.	111
Figura 4.18 Interfaz del proceso de carga	111
Figura 4.19 Prueba de carga de VE a los 38 minutos	112
Figura 4.20 Prueba de carga de VE a 1 hora	112
Figura 4.21 Prueba de carga de un VE BYD modelo E5.	113
Figura 4.22 Prototipo de estación de carga.	113
Figura 5.1 Campos de la tabla estaciones.	115
Figura 5.2 Campos de la tabla estado_estacion.	116
Figura 5.3 Campos de la tabla reservas.	117
Figura 5.4 Campos de la tabla tarjetas.	117



Figura 5.5 Campos de la tabla tarjeta_usuario.....	118
Figura 5.6 Campos de la tabla transacciones.	118
Figura 5.7 Campos de la tabla usuarios.	119
Figura 5.8 Modelo esquemático de conexión de WebSocket [63].....	120
Figura 5.9 Modelo esquemático del funcionamiento de una sala de chat. [65].....	121
Figura 5.10 Comando para loguearse en Heroku.	133
Figura 5.11 Ventana abierta por parte de Heroku en el navegador web Chrome.....	133
Figura 5.12 Mensaje de confirmación de logueo por parte de Heroku.	133
Figura 5.13 Establecimiento del directorio “TesisFinal” como un directorio de git.....	134
Figura 5.14 Página mostrada por Heroku una vez que se ha hecho el proceso de logueo y de que se ha creado la aplicación previamente.....	135
Figura 5.15 Variables de configuración de la aplicación. La única variable de configuración es “CLEARDB_DATABASE_URL”.....	135
Figura 5.16 Comando ingresado en cmd de windows para exportar la base de datos a Heroku. Cuando el proceso se ha completado con éxito, no se muestran errores.....	136
Figura 5.17 Página para logueo de administrador.	137
Figura 5.18 Página de inicio para el administrador.	137
Figura 5.19 Página web mostrada al ingresar a la subsección “Información de estaciones”.	138
Figura 5.20 Resultados de seleccionar la opción “Editar” en la estación cs0001.	138
Figura 5.21 Estado de las estaciones según la fecha del último mensaje recibido.	139
Figura 5.22 Formulario para agregar información sobre una nueva estación al sistema.	139
Figura 5.23 Información de todas las tarjetas del sistema.	140
Figura 5.24 Campos para editar acerca de las tarjetas.....	140
Figura 5.25 Formulario para ingresar una nueva tarjeta a la base de datos.	140
Figura 5.26 Usuarios registrados en la base de datos y su información, además de opciones extras.....	141
Figura 5.27 Formulario para adjuntar una tarjeta a un usuario.....	141
Figura 5.28 Información de usuarios. El usuario “Luis González” ya tiene una tarjeta asociada a su cuenta.....	142
Figura 5.29 Tarjetas asociadas al usuario “Luis González” y opción para recargar saldo.	142
Figura A.1 Dimensiones del conector para el modo 3 de carga bajo el estándar IEC 62196 [7].	153
Figura B.2 Diseño de la tarjeta RFID.....	153



Índice de tablas

Tabla 2.1 Puertos de carga de los VE	38
Tabla 2.2 Conectores de carga para los VE.....	38
Tabla 2.3 Resumen de los modos de carga por diferentes estándares	38
Tabla 2.4 Estados de carga del VE [18].	42
Tabla 2.5 Ejemplos de Duty Cycle en la Señal Piloto.....	43
Tabla 2.6 Estación de recarga marca HICONICS [25]	50
Tabla 2.7 Estación de carga SICON EMI [26].....	51
Tabla 2.8 Estación de carga marca AO NENG [27]	52
Tabla 2.9 Estación de carga marca ABB Terra 54 G [28].	53
Tabla 2.10 Vehículos eléctricos con conector IEC 62196 tipo 2	53
Tabla 2.11 Estación de carga rápida marca Grasen [30].	57
Tabla 2.12 Estación de carga rápida Hiconics [31].	58
Tabla 2.13 Estación de carga rápida marca SCU [32].	59
Tabla 2.14 Estación de carga rápida marca PowerCore [33]	60
Tabla 2.15 Vehículos con conector CCS Combo	61
Tabla 2.16 Capacidad de almacenamiento y estimación de tiempo de carga de los VE a 43kW CA	63
Tabla 2.17 Vehículos con capacidad de carga rápida a 150 kW	63
Tabla 2.18 Registros y Direcciones MODBUS	79
Tabla 2.19 Código de función.....	80
Tabla 2.20 Ejemplo de solicitud Modbus	81
Tabla 2.21 Estados de comunicación del VE con la EVSE.....	89
Tabla 2.22 Valores de estados de acuerdo al controlador	99
Tabla 2.23 Codificación de la corriente admisible para el valor de resistencia según IEC 61851-1.....	102

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Frank Leonel Torres Aguilar en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "DESARROLLO DE UNA SIMULACIÓN PARA EL CONTROL DE UNA ESTACIÓN DE CARGA MODO 3 EN CA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS", de conformidad con el Art. 114 del Código ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de marzo de 2021



Frank Leonel Torres Aguilar

0705322311

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, David Alfredo Llivicura Arias en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "DESARROLLO DE UNA SIMULACIÓN PARA EL CONTROL DE UNA ESTACIÓN DE CARGA MODO 3 EN CA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS", de conformidad con el Art. 114 del Código ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de marzo de 2021



David Alfredo Llivicura Arias

0104034160

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Frank Leonel Torres Aguilar en calidad de autor de la tesis "DESARROLLO DE UNA SIMULACIÓN PARA EL CONTROL DE UNA ESTACIÓN DE CARGA MODO 3 EN CA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusividad responsabilidad de su autor.

Cuenca, 23 de marzo de 2021



Frank Leonel Torres Aguilar

0705322311



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, David Alfredo Llivicura Arias en calidad de autor de la tesis "DESARROLLO DE UNA SIMULACIÓN PARA EL CONTROL DE UNA ESTACIÓN DE CARGA MODO 3 EN CA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusividad responsabilidad de su autor.

Cuenca, 23 de marzo de 2021

David Alfredo Llivicura Arias

0104034160



Certifico

Que el presente proyecto de tesis: "Desarrollo de una simulación para el control de una estación de carga modo 3 en CA para vehículos eléctricos", fue dirigido y revisado por mi persona.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Luis González Morales", written over a horizontal line.

Ing. Luis González Morales, PhD

Director de Tesis



Dedicatoria 1

Dedicado a todas las personas que me ayudaron en este proyecto de titulación, Ing. Luis González, Frank Torres, Pablo Delgado, Sthefany Carabajo, Alexis Vintimilla, Sebastián Rea.

A Ivania Aguirre por ser una de las personas más importantes en mi vida.

David Alfredo Llivicura Arias



Dedicatoria 2

A mi madre Flor, por ser una guerrera y nunca darse por vencida a pesar de las adversidades, dándome siempre apoyo emocional y económico en toda mi vida y carrera universitaria. A mi amiga Evelyn, por haberme dado ánimos y ganas de seguir adelante en los momentos más oscuros. A mi hermano Oscar, por su ayuda desinteresada en aquellos proyectos universitarios en los que incluso se desvelaba hasta finalizar. A mi amigo David, quien a pesar de las dificultades generadas por una pandemia mundial supo llevar adelante el proyecto hasta el final y comprender mi situación en estos tiempos y a nuestro tutor Luis, quien supo guiarnos y darnos ánimos en todo el camino de elaboración de nuestra tesis.

Frank Leonel Torres Aguilar



Agradecimientos 1

Al Ing. Luis González por ser un excelente docente y amigo, además de su inmensa ayuda como tutor en el desarrollo de esta tesis su ayuda fue fundamental para lograr el presente proyecto, además le agradezco por todos los consejos que nos servirán para seguir aprendiendo y de cómo trabajar en el campo laboral y por siempre tener el laboratorio presto para todos los estudiantes que lo necesiten.

A Pablo Delgado también por estar siempre presto para ayudarnos y ayudar a los estudiantes que lo necesiten en el laboratorio de Micro Red, y sus consejos de vida que siempre lo llevaremos presente. Una excelente persona, amigo y servidor público que pueda tener la Universidad de Cuenca.

A mis Padres por su apoyo y estar pendientes de mi desarrollo en el transcurso de la vida universitaria.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca donde nos hemos formado, esta ha sido de las mejores experiencias de vida donde se compartió y aprendió muchos conocimientos gracias a aquellos docentes que Supieron Enseñar y a los que No de igual manera.

A todas aquellas personas, amigos/as que estuvieron a lo largo de la vida universitaria fueron como una familia donde se compartieron buenos momentos. A los amigos y futuros colegas de la carrera de eléctrica que hice en el laboratorio de Balzay donde se compartieron buenos momentos.

A mis mejores amigos Narvi, Mijin, WYA, Gordo, Gus, Tokys, Bustas y al grupo de combitos por los momentos de risa y joda que se pasaban, hicieron de la U un lugar ameno.

David Alfredo Llivicura Arias



Agradecimientos 2

A mi padre Víctor que, gracias a su carácter fuerte y su persistencia en trabajos pesados, pudo sacar adelante a nuestra familia en mis tiempos de colegio. A mis hermanas Jessenia y Erika, que pese a la distancia siempre se han acordado de mí, haciéndose sentir cerca. A mi hermana Mónica que, a pesar de las discusiones en nuestra juventud, ha sido un ejemplo de superación y persistencia para mí. A mis sobrinos Jenko y Anthony, con quienes pasé las mejores aventuras que unos adolescentes pueden tener y a toda mi familia y amigos que de alguna u otra forma estuvieron apoyándome en esta larga travesía.

Frank Leonel Torres Aguilar

Abreviaciones y Acrónimos

BEV: vehículo eléctrico de batería

BMS: sistema de administración de la batería

CA: corriente alterna

CD/CC: corriente directa o continua

CEM: Compatibilidad Electromagnética

CP: control de piloto

DER: recursos energéticos distribuidos

EVSE: equipo de alimentación del vehículo eléctrico

FCEV: Vehículo Eléctrico de Pila de Combustible

HEV: vehículo híbrido eléctrico

IP: grado de protección

L1: nivel 1 de la red eléctrica, monofásico

L2: nivel 2 de la red eléctrica, bifásico

L3: nivel 3 de la red eléctrica, trifásico

MCI: motor de combustión interna

N: neutro

OCPP: Protocolo abierto de punto de carga

PE: tierra

PHEV: Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable

PP: puerto de proximidad

SOC: Estado de carga

VE: vehículo eléctrico

Capítulo 1 : Introducción

1.1 Introducción

La historia de los vehículos eléctricos (VE) se remonta aproximadamente a 1859 con el diseño de las primeras baterías de plomo-ácido por parte de Gastón Plante. Los VE comenzaron antes de que se introdujeran los vehículos MCI (motor de combustión interna). Sin embargo, solo una pequeña porción del mercado automotriz estaba ocupada por vehículos eléctricos. Las tecnologías de los VE modernas son comparativamente nuevas, y los VE ahora están ganando popularidad debido a varias ventajas, como cero emisiones, no dependencia del combustible fósil, eficiente, relativamente silencioso, etc. La investigación sobre vehículos eléctricos se ha centrado en aumentar el alcance y la eficiencia del vehículo, reducir el precio y desarrollar métodos para un sistema de carga eficiente [1].

Los vehículos a tracción eléctrica pueden ser alimentados de diversas fuentes como baterías, ultra condensadores o celdas de combustible (Hidrógeno), que no dependen directamente del combustible fósil ni de la emisión de gases contaminados. Dependiendo del tipo de VE, se puede usar una o varias de estas fuentes de energía en un VE. Para que los vehículos eléctricos sean competitivos en el mercado, es necesario resolver una serie de desafíos, como el costo de la batería, las estrategias de carga eficientes, la interoperabilidad de las estaciones de carga y el impacto de la integración de vehículos eléctricos en la red.

En este contexto, los vehículos eléctricos serán el futuro de la industria de automóviles debido a todas las ventajas que presentan, por ende, para que un VE cumpla con sus objetivos va a necesitar de un sistema de recarga para sus baterías. Estos sistemas de recarga son conocidas como las estaciones de carga o comúnmente llamadas electrolineras las cuáles son responsables de recargar las baterías de los VE. En la actualidad existen diversos fabricantes de estaciones de carga entre ellos pueden ser las propias empresas que fabrican los VE. Las estaciones de carga deben de funcionar de acuerdo a las especificaciones de normas o estándares internacionales entre la más conocida esta la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) que es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. También está la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE). Estas organizaciones han categorizado diferentes tipos de cargadores eléctricos, de acuerdo con sus niveles de potencia y modo de carga. Posteriormente se verá a detalle estos modos y niveles de carga.

Las estaciones de carga deben ser lo suficientemente intuitivas y prácticas al momento de manipularlas. En este contexto, la interfaz gráfica que tiene la estación debe ser claro y conciso para que sea de fácil interacción con el usuario. Existen diversos fabricantes de estaciones de recarga, cada uno con propuestas de desarrollo de software y hardware que las diferencien y aspectos técnicos que inciden indudablemente en el precio de la estación.

En el Capítulo 3, a efectos de conocer el funcionamiento de la estación de carga a modelar y construir se desarrolla una simulación de la comunicación del sistema de carga con el VE, para ello se emplean elementos de software de código abierto que ayudarán a desarrollar la simulación y posterior tener una mejor experiencia de visualización en la simulación de la estación con un VE.

En el Capítulo 4 se describe el proceso de implementación de la infraestructura física del prototipo de estación de carga. Una vez simulado el proceso de control de carga y validación de usuarios para una estación de carga se procederá a realizar el prototipo de estación y realizar las pruebas en un vehículo que trabaje bajo la normativa IEC 61851-1 y además que cuente con el estándar de conexión IEC 62196 tipo 2 bajo el cual permite el modo 3 de carga.

Finalmente, en el Capítulo 5 se describe el proceso de implementación de un servidor en la plataforma como servicio Heroku. El servidor se desarrolla inicialmente en un entorno local utilizando el entorno de programación Visual Studio Code y el entorno de ejecución multiplataforma Node.js, el cual está basado en el lenguaje de programación JavaScript. Con el servidor, se establecen rutinas de comunicación con la estación de carga, mismas que están basadas en OCPP. Finalmente, el servidor cuenta con la capacidad de gestionar múltiples estaciones, así como la información relevante al sistema de carga como usuarios, tarjetas y transacciones.

1.2 Antecedentes

Existen gran variedad de estaciones de carga de VE, descritos técnicamente por los modos 1, 2, 3 y 4 bajo las normas de la IEC 61851-1. En este contexto, un desafío vigente en tecnología relacionada a VE implica la reducción del tiempo de carga y aumentar el aumento en la autonomía de operación del VE. Por ejemplo, un vehículo equipado con la posibilidad de carga rápida tiene su principal ventaja de no tener que esperar varias horas hasta que sus baterías estén totalmente cargadas. Por el contrario, existen estaciones que el tiempo de carga van desde las 6 a 8 horas dependiendo del estado inicial de carga de la batería y la potencia que se les suministre, estas estaciones son las conocidas como estaciones de carga lenta dado que manejan una potencia inferior a los 7.6 kW. En la parte media de este segmento de estaciones de carga existen las llamadas estaciones de carga semi-rápida porque su potencia se encuentra en un rango superior a las estaciones de carga lenta e inferior a las estaciones de carga rápida. Si bien estas estaciones son poco particulares en el mercado actual hay varios autos que manejan este tipo de carga. Este segmento maneja voltajes trifásicos en CA con potencia de no mayor a los 43 kW, esta estación presenta ventajas de ser menos costosa ya que no requiere mayores componentes como convertidores CA-CC, disipadores, controladores, ventiladores, módulos de potencia. Fabricar una estación de carga semi-rápida requiere de varios componentes, algunos de ellos lamentablemente no son de fácil acceso como por ejemplo las tarjetas controladoras para la comunicación con el VE. Ante la falta de este elemento importante para conocer cómo funciona físicamente, el estándar provee información acerca de su operación basado en los estados de comunicación para iniciar la carga del VE, en este contexto, con el uso de software libre se puede

desarrollar una simulación de la comunicación de la estación de carga con el VE para entender cómo trabaja el controlador y así finalmente el desarrollo de un prototipo una vez conocida y adquirida la tecnología. Como se ha mencionado desarrollar una simulación de una estación da origen a encaminarse a crear un prototipo de estación de carga y en un futuro llegar a ser un producto comercial. Entonces resumiendo estas estaciones de carga semi-rápida representan beneficios en el costo de fabricación y el tiempo de carga se reduce considerablemente a comparación de las estaciones de carga lenta que toman varias horas para recargar las baterías de un vehículo eléctrico. Es importante mencionar que las estaciones deben contar con una interfaz de usuario que ayude a monitorear al sistema de carga, también deben contar con un sistema de cobro para descontar a los usuarios por cargar su vehículo eléctrico con la estación de carga en cuestión.

1.3 Alcance

El trabajo de titulación comprende el desarrollo de una simulación de los procesos de comunicación y control de una carga entre un vehículo eléctrico y una estación de carga bajo el modo 3 en corriente alterna, el cual está descrito por la norma IEC 61851-1. Para lograr esto, se desarrollará en una Raspberry Pi una interfaz gráfica que simule a la estación de carga semi-rápida, así como el código respectivo para el control de la carga. Este código será capaz de conectarse a una base de datos local de tal manera que se pueda tener un sistema de control de usuarios y de cobro por energía eléctrica consumida. Por otro lado, para simular y aplicar las pruebas experimentales de carga de vehículos eléctricos tanto en un sistema monofásico a 220 VCA como en un sistema trifásico a 380 VCA, se usarán resistencias de níquelina.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar una simulación del sistema de comunicación de una estación de carga con un vehículo eléctrico.

1.4.2 Objetivos Específicos

- I. Estudiar el estado del arte en relación a infraestructuras de carga semi-rápida conocidas como estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos tanto en CA como CC.
- II. Simular la comunicación del sistema de estación de carga con el vehículo eléctrico.
- III. Desarrollar una interfaz gráfica de usuario para la interacción y control de usuarios.

1.5 Metodología del Trabajo Experimental

En primer lugar, se realiza un estudio del estado del arte, en relación a los sistemas de carga de los VE, con el fin de realizar posteriormente la simulación bajo el protocolo de comunicación del vehículo eléctrico con la estación de carga de acuerdo al estándar IEC 61851-1, para esta investigación primero se analiza las normas o estándares mundiales que existen para los modos de carga haciendo especial énfasis en especial el modo de carga semi-rápida ya que este trabaja en modo 3 a 43kW de potencia.

Luego de esta investigación se extrae las características importantes de una estación de carga física y así poder modelar sus funciones para proceder con la simulación. Puesto que estas estaciones deben ser seguras se va adaptar varios sistemas de seguridad en la simulación de carga con el fin de conocer la seguridad y problemas que se puedan presentar al momento de cargar un vehículo eléctrico.

La simulación contempla varios aspectos que una estación de carga trabaja hoy en día como por ejemplo el uso de tarjetas RFID, el uso de estas tarjetas va ayudar a que los usuarios puedan realizar la carga de su vehículo eléctrico satisfactoriamente. El uso de estas tarjetas va ayudar a llevar un registro de cómo está operando la estación, el número de veces que cargan en un día, los usuarios que existen registrados, los niveles de energía que se consumen.

La simulación como tal ayuda al desarrollo del prototipo de estación de carga que se ha realizado en este trabajo de titulación, el prototipo tendrá las medidas de seguridad necesarias que una estación de carga deba cumplir bajo las normas de la IEC 61851-1 además de contar con un sistema de interfaz para que trabaje de manera interactiva y amigable al usuario, sistema de control, gestión de carga y usuarios mediante el uso de tarjetas RFID.

Capítulo 2 : Estado del Arte

2.1 Vehículos Eléctricos

Los vehículos a tracción eléctrica son vehículos propulsados por uno o varios motores que se alimentan de una fuente de energía eléctrica, esta fuente eléctrica comúnmente tiene origen en sus baterías electroquímicas. En la actualidad las baterías más utilizadas son las de Ion-Litio, las baterías de Ion-Litio son de excelente fiabilidad, ligeras y de alta capacidad, y sus ciclos rápidos de carga y descarga hacen que estén entre las mejores baterías recargables para un vehículo eléctrico, además almacenan 3 veces más energía que las baterías de plomo, es decir 3 veces más densidad de energía por unidad de peso. En la Figura 2.1 se observa un vehículo de la empresa BYD, este vehículo en particular debe cargarse utilizando el conector de carga de acuerdo a la norma IEC 62196 tipo 2 o conocido comúnmente como Mennekes, este vehículo comúnmente viene con una capacidad de 40 kWh para un recorrido aproximado de 300 km según datos del fabricante.

Las baterías de los VE almacenan la corriente eléctrica en forma de corriente directa (CC). Pero, la mayoría de los motores utilizados en los vehículos eléctricos funcionan con corriente alterna (AC), por lo que existe un inversor que realiza la función de convertir la corriente DC en corriente AC. Un motor eléctrico proporciona la potencia para mover las ruedas. Los motores pueden ser de tipo DC/AC.



Figura 2.1 Vehículo eléctrico sedán de la empresa BYD modelo e5 [2].

2.2 Estado actual de las estaciones de carga

El mercado de las estaciones de carga va de la mano con el de los vehículos eléctricos. La cantidad de vehículos eléctricos vendidos en todo el mundo va en aumento [1], tal y como se muestra en la Figura 2.2, por lo que se espera que la cantidad de estaciones vendidas también incremente.

Las estaciones de carga implementadas pueden clasificarse en tipos residenciales y no residenciales, y pueden facilitar la carga lenta (modo 1 y 2) así como la carga rápida (modo 3 y CC) [3]. A pesar de que la mayoría de estaciones vendidas son de tipo residencial con puertos de carga lenta, se prevé que las futuras estaciones tendrán todo tipo de puertos (carga lenta y rápida), de tal manera que puedan ser desplegadas por ejemplo en centros comerciales como estaciones de servicio [5]. Ya se han establecido varias estaciones de carga comerciales que tienen puertos de carga semi-rápida y rápidas, en las que el tiempo de carga puede llegar a ser inferior a una hora.

Como ejemplo hasta el 2018, la compañía Tesla ha establecido un total de 1430 estaciones de carga rápida en todo el mundo, de las cuales 694 están en América del Norte, 442 en Europa y 294 en la región de Asia Pacífico [4]. La Asociación Canadiense de Automóviles (CAA) ha declarado que, con la cooperación de otra empresa de infraestructura de carga, Charge Hub, se han establecido 7906 estaciones de carga en las principales ciudades de Canadá. Este número incluye estaciones de carga rápida y lenta [5].

Además, se están construyendo estaciones de carga bidireccionales que pueden ayudar al sistema eléctrico a compensar la deficiencia de energía durante los períodos de máxima actividad. Más adelante se presentan más detalles sobre las infraestructuras de carga.

En la Figura 2.2 se observa la evolución de la cantidad de autos eléctricos vendidos a nivel mundial, desde hace una década, año 2010, el número de VE ha sido muy limitado, ya en el año 2015 se comienza a observar una tendencia superior de número de VE en circulación, aproximadamente 1 millón y más. Actualmente se tiene una estimación de más de 5 millones de autos eléctricos circulando en todo el mundo.

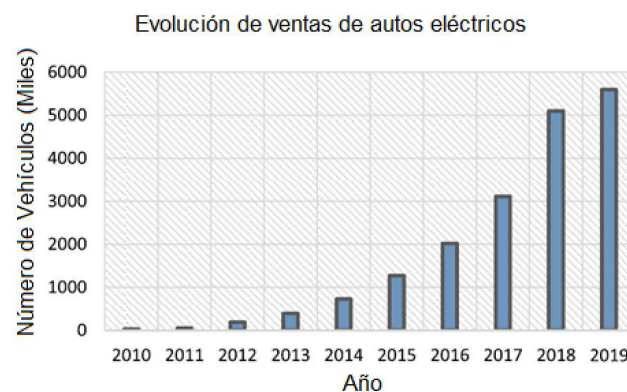


Figura 2.2 Evolución de ventas de los vehículos eléctricos [1].

2.3 Organismos de estandarización en el ámbito de los vehículos eléctricos

Existen varios estándares que se encuentran disponibles para todo el mundo, estos se encargan de proveer toda la información acerca de las estaciones de carga para los VE y sobre su infraestructura de carga VE en general, aunque este último no resulte ser tan específico. La SAE e IEEE se usan en fabricantes de VE principalmente en EE. UU, en cambio la IEC se usa ampliamente en Europa. En otros países como Japón también cuentan con sus propios estándares de carga VE llamados CHAdeMO. China por otro lado utiliza el estándar Guobiao (GB/T), emitido por la Administración de Normalización de China y el Comité Nacional Chino de ISO e IEC para la carga en CA y CC, donde los estándares de carga de GB/T en CA son similares a los estándares de IEC. El estándar IEC que se ocupa de la carga del VE en el modo 3, se analizará en detalle ya que este estándar es ampliamente utilizado para la carga semi-rápida. En la SAE, el nivel de potencia se denomina nivel o “level” por sus siglas en inglés, mientras que en la IEC el modo o “mode” por sus siglas en inglés se utiliza para especificar el nivel de potencia.

2.3.1 IEC 61851-1 (Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos)

La IEC publica normas internacionales, especificaciones técnicas, informes técnicos, especificaciones disponibles al público (PAS) y guías. Organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con IEC también participan en la elaboración. IEC colabora estrechamente con la organización internacional de normalización (ISO), de acuerdo con las condiciones determinadas por acuerdo entre ambas [6].

Es un estándar internacional para los sistemas conductivos del vehículo eléctrico, cabe mencionar que esta norma aún se encuentra en desarrollo

Dentro de esta norma se encuentran especificaciones como:

- IEC 61851-22: estación de carga CA para vehículo eléctrico, actualmente los requisitos de esta norma se han trasladado a la norma IEC 61851-1 ya que la norma IEC 61851-22 ha cesado.
- IEC 61851-23: estación de carga CC para vehículo eléctrico.

La norma es de aplicación al sistema de alimentación de VE para carga de vehículos de carretera eléctricos, con una tensión de alimentación asignada de hasta 1000 VCA o hasta de 1500 VDC y una tensión de salida asignada de hasta 1000 VCA o hasta 1500 VDC [6].

Los aspectos que cubre esta norma son:

- Características y condiciones de funcionamiento del sistema de alimentación del VE

- Especificación de la conexión entre el sistema de alimentación del VE y el VE
- Requisitos para seguridad eléctrica para el sistema de alimentación del VE

Los aspectos que no cubre esta norma son:

- Aspectos de seguridad relacionados con el mantenimiento de estaciones
- La carga de trolebús, vehículos sobre raíles, camiones industriales y vehículos diseñados fundamentalmente para utilización fuera de la carretera
- Equipos en el VE
- Requisitos de CEM para equipos en el VE mientras permanece conectado, que están cubiertos por la Norma IEC 61851-21-1
- RESS de carga no embarcados en el VE
- Equipos de alimentación de VE en C.C que se basen específicamente en aislamiento doble/reforzado o de clase III de protección contra choque eléctrico.

2.3.1.1 Requisitos generales

El sistema de alimentación de VE debe construirse de manera que pueda conectarse un VE al sistema de alimentación de VE de manera que, en condiciones normales de uso, la transferencia de energía funcione de manera segura y que su funcionamiento sea fiable y minimice el riesgo de peligro para el usuario o el ambiente [6].

Todos los ensayos se deben llevar a cabo en una ubicación libre de corrientes de aire a una temperatura ambiente de $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ [6].

2.3.1.2 Aislamiento

Todos los materiales y partes utilizadas para aislar los elementos conductores de un dispositivo, o un conjunto de propiedades que caracterizan la capacidad del aislamiento de proporcionar su función [6].

2.3.1.3 Cable de carga

Conjunto que consta de un cable o cordón flexible equipado con una clavija y/o un conector de vehículo, que se utiliza para establecer la conexión entre el VE y la red de suministro o una estación de carga de VE [6].



2.3.1.4 Circuito piloto de control

Circuito diseñado para la transmisión de señales o comunicación entre el VE y el sistema de alimentación del VE [6].

2.3.1.5 Punto de conexión entre VE e instalación eléctrica

Punto donde se conecta un vehículo eléctrico a la instalación fija. El punto de conexión para los modos 3 y 4 es el punto donde se conecta un vehículo eléctrico a la estación de carga de VE [6].

2.3.1.6 Utilización en exterior

Capaz de funcionar bajo un rango específico de condiciones de intemperie [6].

2.3.1.7 Montado sobre el suelo

Equipos con una parte destinada a estar embebida o fijada en el suelo [6].

2.3.1.8 Usuario

Parte que especifica, compra, utiliza y/u opera el sistema de alimentación de VE, o alguien que actúa en su nombre [6].

2.3.1.9 Conductor de puesta a tierra de protección

Conductor de protección destinado a puesta a tierra de protección. En EEUU y en Canadá, se utiliza el término “ground” en vez de “earth” [6].

2.3.1.10 Dispositivo de corriente residual

Dispositivo de conmutación mecánico diseñado para establecer, conducir y cortar corrientes bajo condiciones de servicio normales y para ocasionar la apertura de los contactos cuando la corriente residual alcance un valor dado bajo condiciones especificadas [6].

2.3.1.11 Corriente de fuga

Corriente eléctrica en un camino conductor no deseado bajo condiciones de funcionamiento normal [6].

2.3.1.12 Dispositivo de conmutación

Dispositivo diseñado para establecer o cortar la corriente en uno o más circuitos eléctricos [6].

2.3.2 IEC 62196-2 (Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos.)

Es un estándar internacional para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de carga en particular desde la carga semi-rápida hasta la carga rápida.

Esta norma se encuentra aún en desarrollo por lo que no se especifica el tamaño físico de cualquier conector de carga, pero si se menciona los conectores IEC 60309 de propósito general en la parte 2, es decir, en la norma IEC 62196-2.

- IEC 62196-1: Contiene requisitos generales como enchufes, tomas de corriente, acopladores de vehículos y entradas de vehículos para conectores de VE [1].
- IEC 62196-2: Estandariza tres tipos de sistemas de conexión a la red que se conocen como tipo 1, 2 y 3 a los modos 1, 2 y 3 [1].
- IEC 62196-3: Define conectores y entradas para una carga rápida en CC [1].

Tienen una tensión de funcionamiento asignada no superior a 480 V en CA, a 50 Hz o 60 Hz, y una corriente asignada que no excede de 63 A en trifásico o de 70 A en monofásico, para su uso la carga conductiva de VE.

Las entradas de vehículo y conectores de vehículo de esta norma están destinadas a utilizarse para la carga en modo 1, 2 y 3. Las bases de toma de corriente y las clavijas cubiertas por esta norma están destinadas a utilizarse únicamente en el modo de carga 3.

2.3.2.1 Conector trifásico de 63 A, 480 VCA

En este apartado manejar esta configuración de valores de tensión y corriente se conoce como configuración tipo 2 y bajo esta se aplican las siguientes especificaciones:

El enclavamiento y retención de los conectores es obligatorio para evitar la separación involuntaria y la desconexión en carga. El enclavamiento se debe asegurar que la transmisión de energía se detiene antes de la separación. En la Figura 2.3 se observa un conector tipo 2 del estándar IEC 62196 para realizar la carga de un VE, la Figura muestra las diferentes conexiones y dimensiones que tiene el conector.

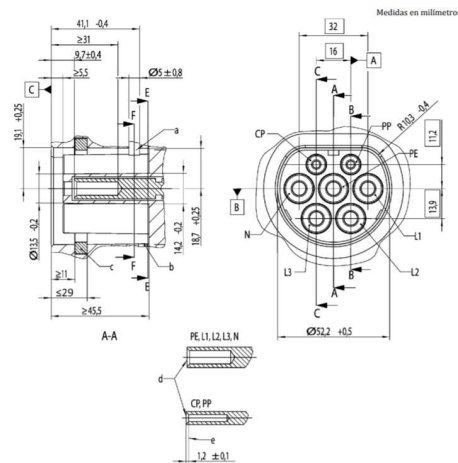


Figura 2.3 Dimensiones conector IEC 62196-2 [7].

2.3.3 SAE J1772

La SAEJ1772 analiza todas las clasificaciones de equipos para la carga de vehículos eléctricos, incluida la clasificación de corriente del disyuntor, la clasificación de voltaje de carga, etc., [8]. El estándar se define tanto para CA como para CC, donde cada uno de ellos posee 3 niveles. La mayoría de los vehículos están diseñados para aceptar una carga a bordo de CA de nivel 2 a menos de 30 A. El nivel de CC SAE se refiere a la carga de CC y ofrece una velocidad de carga muy alta. Sin embargo, a pesar de las ventajas de las estaciones en CC la tasa de carga real está limitada por la química de la batería, la infraestructura y algunos otros factores.

2.4 Estándares de integración a la red de vehículos eléctricos

Hay varios estándares y códigos disponibles: IEEE1547, UL1741 y NFPA70 [9]. Las características más relevantes de algunas de ellas se presentan a continuación.

2.4.1 IEEE 1547 (Estándar IEEE para interconexión e interoperabilidad de recursos energéticos distribuidos con interfaces de sistemas de energía eléctrica asociados)

El estándar IEEE 1547 se conoce como un grupo de “Estándares para interconectar recursos distribuidos con sistemas de energía eléctrica”. Es aplicable para todas las tecnologías DER (recursos energéticos distribuidos) con una capacidad colectiva de 10 MVA (megavoltiamperio) de potencia aparente o menos en el PCC (centro de control de energía), cubre los requisitos relevantes para el desempeño, operación, prueba, consideraciones de seguridad y mantenimiento para la interconexión de DER, y enfatiza la instalación de los recursos energéticos distribuidos primarios y secundarios de los sistemas de distribución de redes.

2.4.2 Normas UL

UL publicó varios estándares para cubrir diferentes aspectos de la integración de la red a los DERs (recursos energéticos distribuidos). Entre ellos, el estándar más importante es UL 1741, que analiza el equipo de conversión de energía y sus especificaciones de dispositivo de protección aplicables para la integración de la red de DER. Las otras normas son UL 62109, UL 62109-1 y UL 62109-2 y UL 1741 SA.

2.5 Estándares de seguridad de los vehículos eléctricos

Uno de los factores muy importantes en los VE es la seguridad por lo que es una parte obligatoria para la carga de vehículos eléctricos y la integración de la red. Aunque la mayoría de las organizaciones de estandarización tienen estándares de seguridad, NFPA y NEC se enfocan particularmente en la seguridad y protección. Las normas relacionadas con la carga de vehículos eléctricos y la integración de la red definidos por estas dos organizaciones se detallan a continuación [1].

2.5.1 Estándares NFPA (Asociación nacional de protección contra el fuego)

NFPA es un líder a nivel mundial en ofrecer seguridad contra incendios, electricidad y de vida al público. El estándar publicado por NFPA en el área de los VE y su integración a la red es NFPA 70, esta cubre instrucciones sobre cableado de equipos eléctricos y seguridad en el lado del cliente del PCC (centro de control de energía). Estas normas incluyen:

- Conductores y equipos eléctricos instalados dentro o sobre edificios públicos y privados y otras estructuras.
- Cable de fibra óptica.
- Edificios utilizados por la empresa eléctrica que no son parte integral de una planta generadora, subestación o centro de control.
- Conductores eléctricos que conectan las instalaciones a la red eléctrica y otros conductores y equipos exteriores del local.

2.5.2 Estándares NEC (Código Eléctrico Nacional)

NEC es otro proveedor estándar que trabaja en medidas de seguridad en la industria de vehículos eléctricos. También proporciona los estándares para los equipos de carga de vehículos eléctricos.

2.5.2.1 NEC 625 (Sistemas de equipos de suministro y carga de vehículos eléctricos)

Esta norma titulada como “Sistemas de equipos de suministro y carga de vehículos eléctricos” proporciona los estándares para los sistemas de carga de vehículos eléctricos externos. Cubre la infraestructura conectada a los circuitos de alimentación o ramales para la carga de vehículos eléctricos, como conductores, enchufes de conexión y dispositivos de carga inductiva, y proporciona las instrucciones de instalación para el equipo de la estación de carga de vehículos eléctricos.

2.5.2.2 NEC 626 (Espacios de estacionamiento de VE).

Esta norma titulada “Espacios de estacionamiento de VE” cubre el área de espacios de estacionamiento para VE. Define las especificaciones para el equipo eléctrico y los conductores externos al VE que se utilizan para cargar los VE. Las especificaciones incluyen disyuntores, conexiones a tierra, tamaños de cables, prevención de retroalimentación, etc.

2.5.3 IEC 60364-7-722 (Infraestructura de conexión de carga)

De acuerdo a la sección 722.531.3.101 los dispositivos diferenciales o DDRs protegen cada punto de conexión además deben cumplir al menos con los requisitos de un DRR de Tipo A y deben tener una corriente diferencial residual no superior a 30 mA [10].

Cuando la estación de carga de VE esté equipada con una base de toma de corriente o un conector de vehículo que cumpla con la serie de Normas IEC 62196, deben tomarse medidas contra las corrientes de fuga con componentes en CC, excepto cuando las proporcione la propia estación de carga de VE [10].

2.5.4 Seguridad de protección contra el choque eléctrico

Los accesorios se diseñan de manera que las partes activas de la toma de corriente y los terminales del vehículo se puedan entrelazar de una manera simple y eficiente [11].

Cuando se inserte la clavija del vehículo:

- El enlace a tierra se realiza antes que se realicen las conexiones de fase y de neutro.
- El enlace del control piloto, si es el caso, se efectúa después de las conexiones de fase y neutro. [12]

Cuando se aisle el conector del vehículo

- La unión fase y neutro, en el caso que abran antes se genere la unión a tierra.
- El control piloto, abre las uniones de fase y neutro.
- La relación que existe entre el interruptor y la conexión, si fuera el caso, deben efectuarse una división entre el contacto a tierra y el control piloto. [12]

Este tipo de estación de carga semi-rápida en CA incorpora varios sistemas de protección necesarios para la seguridad de la instalación eléctrica, del vehículo y usuario. En España, por ejemplo, según la legislación de esta (ITC-BT 52) este Modo de recarga es obligatorio para los puntos de recarga de uso público.

La conexión del Vehículo Eléctrico a la red de Corriente Alterna se realiza mediante equipamiento dedicado en exclusiva a la recarga del vehículo eléctrico. El modo 3 de recarga permite una recarga tanto monofásica y trifásica. Todo depende si el vehículo lo permite, además podemos recargarlo con 400 VCA, 63 A trifásica (hasta 43 kW) o 250 VCA, 70 A monofásico.

Para este modo de carga se necesita un conector específico, que será Tipo 1 (SAE J1772) o Tipo 2 (IEC 62196-2) dependiendo de las características del vehículo. De manera progresiva este modo 3 se está generalizando dejando de lado el modo 2. Esto es debido al avance tecnológico en cuanto a potencia y capacidad de batería de los VE, el modo 3 representa seguridad, fiabilidad y tiempo de carga menor.

2.6 Modo de carga de los VE

El modo de carga describe el protocolo de comunicación entre el VE y las estaciones de carga. Este tipo de clasificación para el proceso de carga se describe en la norma IEC 61851-1 [13].

2.6.1 Modo 1 de Carga

El modo 1, describe el manejo del tipo de voltaje que puede ser monofásico o trifásico, con corriente alterna CA a 16 A, además este modo no tiene control de comunicación, el conector que maneja es el tipo A, Nema 1/ Tipo F Schuko, posee protecciones tipo diferencial y magnético, finalmente posee conversión de energía On-Board.

2.6.2 Modo 2 de Carga

El modo 2, describe el manejo del tipo de voltaje que puede ser monofásico o trifásico, con corriente alterna CA de 32 A, además posee comunicación entre la estación de carga y el VE mediante control de señal y proximidad, el conector que maneja es el SAE J1772, Mennekes. También posee protecciones tipo diferencial y magnético, finalmente posee conversión de energía On-Board.

2.6.3 Modo 3 de Carga

El modo 3, describe el manejo del tipo de voltaje que puede ser trifásico, con corriente alterna CA de 32 A a 250 A, además posee comunicación entre la estación de carga y el VE mediante señal de control y proximidad, el conector que maneja es el IEC 62196 tipo 2 o Mennekes, CCS, Scame, GB/T 20234.2, finalmente posee conversión de energía On-Board. Bajo esta denominación de modo 3 se hace énfasis el desarrollo de este proyecto de titulación, puesto que el mercado nacional dispone de una gran porción de VE que permite este tipo de carga. En base a datos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), en el país hay cinco marcas que registran importaciones de vehículos eléctricos: Dayang, Kia, BYD, Renault y BMW. Todas estas marcas vendieron entre el año 2017 y 2019, 356 unidades, la mayoría en el segmento de vehículos, después están los SUV y buses. La empresa BYD con su VE visto en la Figura 1 posee conector de carga bajo el estándar IEC 62196 tipo 2 para cargar de acuerdo a este modo.

2.6.4 Modo 4 de Carga

El modo 4, describe la carga del VE bajo un cargador (Off-Board) donde la estación de carga convierte de AC/DC y entrega al banco de baterías del VE un voltaje continuo con corrientes de hasta 400 A, además posee comunicación entre la estación de carga y el VE mediante una señal de control y protecciones, protocolo CAN y otros, el conector que maneja es el CHAdeMO, CCS. También posee protecciones que están incluidas en el cargador.

2.7 Tipos de conectores de carga en VE

Distintos países en el mundo poseen diferentes estándares de carga. La principal diferencia entre estos estándares de carga radica en el diseño de puertos y conectores. A continuación, se muestra una tabla donde se tienen diferentes puertos de carga y conectores producidos siguiendo diferentes estándares, respectivamente. Los fabricantes están tratando de encontrar una solución de conector de carga común para evitar los conflictos del estándar de carga. En los Estados Unidos, por ejemplo, se utilizan conectores SAE J1772 y tienen capacidad de carga en CA y CC. La empresa Tesla, ha diseñado su propio conector, que también admite carga rápida en CA y CC. Tesla también ha diseñado un adaptador para otros modelos de automóviles, que convierte los conectores SAE J1772 en conectores Tesla para permitir su uso en las estaciones de sobrealimentación de Tesla [1].

Las Tablas 2.1 y 2.2 muestran diferentes puertos de carga y conectores producidos siguiendo diferentes estándares, respectivamente. Los fabricantes están tratando de encontrar una solución de conector de carga común para evitar los conflictos del estándar de carga. En ambas tablas se

puede observar que existen conectores tanto para CA como para DC y además cada país maneja un estándar distinto.

Tabla 2.1 Puertos de carga de los VE

Descripción		USA	JAPÓN	EU		CHINA
Puerto de Carga CA	1 Fase / 3 Fases	 SAE J1772 Nivel 1, Nivel 2 Una Fase	 SAE J1772 Nivel 1, Nivel 2 Una Fase	 IEC 62196 Modo 1 Una Fase	 IEC 62196-2 Modo 2,3 Una Fase/ Tres Fases	 GB/T 20234.2 Modo 1 Una Fase / Tres Fases
		 Nivel 1 + DC SAE J1772	 Nivel 2 + DC Combo	 JEVS G105-1993 CHAdeMO DC Fast Charging	 IEC 62196-3 Combo Híbrido/ CCS	 GB/T 20234.3-2011 DC Fast Charging

Tabla 2.2 Conectores de carga para los VE

	USA		JAPÓN	EU	CHINA
1 Fase/ 3 Fases CA Cargador	 SAE J1772 Nivel 1, Nivel 2 Una Fase		 SAE J1772 Nivel 1, Nivel 2 Una Fase	 IEC 62196-2 Nivel 1, Nivel 2 Una Fase/ Tres Fases	 GB/T 20234.2 Nivel 1, Nivel 2 Una Fase/ Tres Fases
DC Carga Rápida CA-DC Combo	 SAE J1772 Nivel 2 + DC Combo	 Tesla Supercharger	 CHAdeMO DC Fast Charging	 IEC 62196-3 Combo Híbrido	 GB/T 20234.3-2011 DC Fast Charging

La Tabla 2.3 muestra un resumen sobre los modos y niveles de carga antes mencionados para los estándares IEC 62196 y SAE J1772:

Tabla 2.3 Resumen de los modos de carga por diferentes estándares

Estándar	Fuente	Modo/Nive 1	Voltaje(V)	Fase	Máxima Corriente(A)
IEC 62196	CA	Modo 1	120	Una	16
IEC 62196 tipo 2	CA	Modo 2	240	Una/Tres	32
IEC 62196 tipo 2	CA	Modo 3	250	Una/Tres	32-250

CCS tipo 2	CC	Modo 4	600	CC	400
SAE J1772	CA	Nivel 1	120	Una	16
SAE J1772	CA	Nivel 2	240	Una	32-80
CCS tipo 1	CC	Nivel 1	200-450	CC	80
CCS tipo 1	CC	Nivel 2	200-450	CC	200

2.7.1 Conector Europeo IEC 62196 Tipo 2

Cuando se habla del conector basado en el estándar IEC 62196 Tipo 2 se le conoce comúnmente con el nombre de “Mennekes” utilizado para la recarga de vehículos eléctricos. El término Mennekes hace referencia al fabricante que lo diseñó. Este se ha convertido en el conector más usado para la recarga de vehículos eléctricos, en especial la carga semi-rápida y rápida. En la Figura 2.4 se observa un conector Mennekes donde se detalla cada conexión desde la línea L1, L2, L3, N, Tierra o PE y CP.



Figura 2.4 Conector IEC 62196 Tipo 2

El conector Tipo 2 o Mennekes como se ve en la Figura 2.3 se normalizó como un estándar europeo. Este tipo de conector está ganando bastante aceptación entre los fabricantes de vehículos eléctricos ya que cada vez son más los fabricantes de vehículos eléctricos.

La gran diferencia entre el Tipo 1 SAE J1772 y el Tipo 2 IEC 62196 está en el número de fases y, por consiguiente, en la posibilidad de un mayor manejo de energía. Normalmente la potencia de carga en el Tipo 1 es de 1,4 kW - 7,4 kW, mientras que el Tipo 2 permite un rango desde 1,4 kW a 22 kW. Esto se debe a que puede ser utilizado con sistemas monofásicos, bifásicos o trifásicos. Sin embargo, es posible utilizar el Tipo 2 para transferir hasta 120 kW de potencia [14]. Cabe mencionar que el tipo o modo hace referencia al nivel de potencia todo depende del estándar que se maneje ya que cada uno maneja sus términos, pero a la final se habla de lo mismo que es potencia.

2.7.2 Conector GB/T 20234.2

Este tipo de conector describe la carga única trifásica en China, este tipo de conector cuenta con un sistema de palanca que no le permite desenchufar del vehículo mientras está en el modo de carga protegiendo al vehículo y al usuario por posibles manipulaciones. Este conector accede a la red de corriente alterna, cuya tensión nominal no debe superar los 440 V (CA), la frecuencia debe ser de 50 Hz y la corriente nominal no debe superar los 32 A (CA) [12].

Las características principales de este conector visto en la Figura 2.5 son:

- Tiene siete borneras, cuatro destinadas para corriente trifásica, una para tierra y los dos restantes para comunicación.
- Bloqueo y desbloqueo por medio de palanca.
- Los valores de corriente están entre 16 A y 32 A [12].

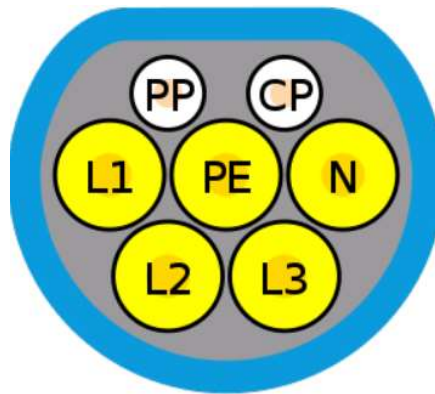


Figura 2.5 Conector GB/T 20234.2 [15].

2.8 Comunicación entre el VE y la estación de carga.

Para cargar un VE en CA, la mejor solución y la más usada es el modo 3 o carga semi-rápida como se le conoce comúnmente ya que garantiza seguridad a los usuarios. La estación cuenta con un controlador de carga que, a través de una señal llamada control de piloto, puede comunicarse con el vehículo y verifica (antes de iniciar el proceso de carga) lo siguiente:

- Si el VE está correctamente conectado a la estación
- La capacidad de corriente máxima del conjunto de cables codificado por una resistencia. Si la corriente es superior a este valor, el equipo de alimentación del vehículo eléctrico (EVSE) interrumpe el suministro de corriente. La mayoría de los vehículos eléctricos están equipados con dos tomas para cargar, uno para carga lenta y otro para carga semi-rápida o rápida;
- Si el sistema de puesta a tierra del vehículo está correctamente conectado a EVSE.

La señal de comunicación enviada por la estación de carga al VE mediante el control piloto y la señal de tierra tiene una forma de onda cuadrada de frecuencia de 1 kHz y un rango de voltaje de $\pm 12.0V / \pm 0.4V$. El circuito del control piloto común de acuerdo con IEC61851-1 se ilustra en la Figura 2. Cabe mencionar que en el estándar de la SAE J1772 el tipo de comunicación es el mismo. El controlador de la estación de carga identifica la etapa del ciclo de carga a través del nivel de voltaje positivo del nivel de la señal de comunicación, de la siguiente manera:

- Vehículo desconectado, cuando el nivel positivo de la señal de comunicación es de 12V
- El conector está conectado tanto al VE como al EVSE, entonces el nivel de voltaje positivo es de 9V
- El vehículo está listo para recibir energía, cuando el vehículo cierra S2 como se observa en la Figura 4 y el nivel de voltaje positivo es de 6V.

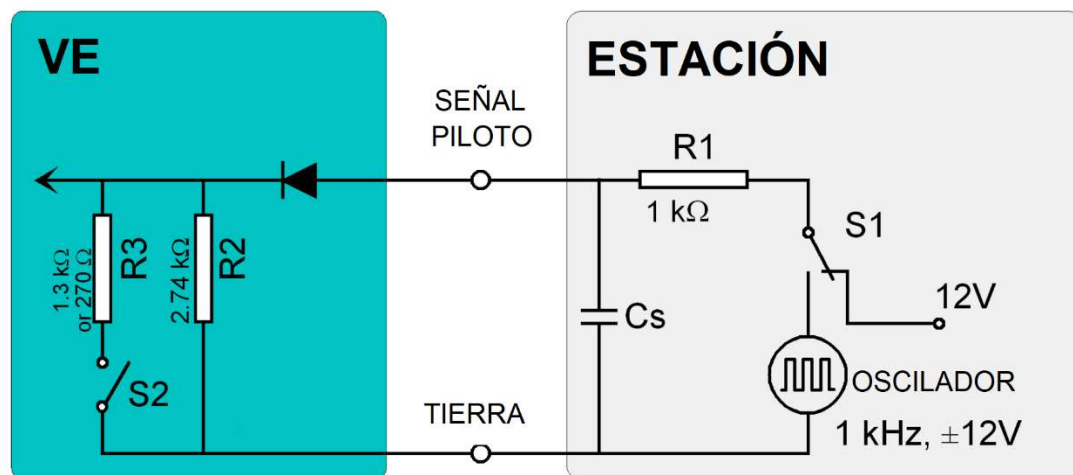


Figura 2.6 Circuito típico para comunicación entre el VE y la estación de carga de acuerdo al estándar IEC 61851-1 [16].

El EVSE o la estación puede enviar información a través del ciclo de trabajo de la señal de comunicación al VE sobre la corriente máxima admitida por el cable utilizado. En consecuencia, el sistema de gestión de la batería del VE conocido como BMS interpreta la señal del piloto de control para limitar la tasa de carga.

2.8.1 Estados de comunicación entre el VE y la estación de carga mediante la señal piloto

Las señales de comunicación entre estación de carga y el VE, así como todas sus funciones fueron definidos en la SAE J1772-2001 y que fue incluido en la norma IEC 61851. Todos los tipos de enchufes de IEC 62196-2 tienen dos señales adicionales: el piloto de control o CP y el piloto de proximidad o PP y además de los pines de energía para cargar: línea L1, línea L2, línea L3,

neutro N y protección a tierra PE. Los estados de comunicación entre el VE y la estación por medio del conector IEC 622916 tipo 2 se ve a detalle en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4 Estados de carga del VE [17].

ESTADO	SEÑAL PILOTO ALTO	SEÑAL PILOTO BAJO	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN
A	12 V	-	DC	No conectado
B	9 V	-	1 kHz	VE conectado
C	9 V	-12 V	1 kHz	VE listo para cargar
D	6 V	-12 V	1 kHz	VE cargando
E	0 V	0 V	-	Error
F	-	-12 V	-	Error en la estación de carga

- El estado A es el estado en el que el vehículo eléctrico y la estación de carga aún no están conectados entre sí, es decir el enchufe de carga no está insertado en el VE. El voltaje medido es de +12 VDC en la señal piloto.
- El estado B el vehículo no está listo para cargar, en este caso el VE está conectado a la estación de carga y el voltaje que se mide es de +9 VDC.
- El estado C el vehículo está listo para cargar y la señal piloto está generando una señal PWM de +9 V a -12 V.
- El estado D, el vehículo está listo para cargar y el proceso de carga comienza la señal PWM baja hasta los +6 V a -12 V.
- El estado E se puede describir como un error durante la carga causado por el vehículo eléctrico o estación de carga.
- El estado F es un error que se puede producir en la estación de carga.

2.8.2 Ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo de la señal piloto comunica el límite de corriente que la estación de carga es capaz de suministrar al vehículo; el vehículo puede utilizar hasta la potencia definida mediante el ciclo de trabajo para su carga. Esta corriente nominal está determinada principalmente por los componentes electromecánicos de la estación de carga, como conductores, relés, contactores y la conexión de servicio.

La relación entre el ciclo de trabajo y la corriente se define mediante dos ecuaciones diferentes según el rango de corriente especificado; para corrientes desde los 6 A hasta los 51 A se define mediante la Ecuación 1:

$$Duty Cycle = \frac{I}{0.6} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para corrientes superiores en el rango de 51 A hasta los 80 A el ciclo de servicio o Duty Cycle es:

$$Duty Cycle = \frac{I}{2.5} + 64 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Como este proyecto de titulación se enfoca en el modo 3 el cual trabaja hasta con una corriente de 63 A, el ciclo de servicio está dado por la Ecuación 2, entonces reemplazando el valor de la corriente por 63 A y resolviendo se tiene:

$$Duty Cycle = \frac{63 A}{2.5} + 64$$

$$Duty Cycle = 89.2\%$$

Entonces, como se observa el ciclo de servicio o Duty Cycle que se debe ajustar a la señal PWM es del 89% para que envíe por la señal piloto los mensajes de comunicación al VE.

A continuación, se presenta la Tabla 2.5 donde se resume algunos ejemplos de ciclos de servicio para diferentes valores de corriente que se esté trabajando.

Tabla 2.5 Ejemplos de Duty Cycle en la Señal Piloto

AMPS(A)	CICLO DE SERVICIO/DUTY CYCLE
5	8.30%
15	25%
30	50%
40	66.70%
65	90%
80	96%

En este proyecto de titulación se tiene como uno de los objetivos emular o simular estas señales de estados que se comunicarán con un VE. Para simular se hace uso de software libre como Python en un ordenador con sistema operativo de Ubuntu 16.04.

2.9 Infraestructura de carga de VE

En general, la infraestructura general de carga para vehículos eléctricos comprende la infraestructura de energía, la infraestructura de control y comunicación como se ve en la Figura 2.7. Además, se observa desde las fuentes de generación de energía como puede ser solar, hidroeléctricas, nuclear, etc., hasta llegar a ser distribuidas en diferentes lugares como zonas residenciales, edificios, zonas de parqueo, centros comerciales. Con la infraestructura de energía se puede implementar las estaciones de carga como se ve en la figura, dependiendo del nivel o modo de carga que trabaje la estación se deberá adecuar las instalaciones eléctricas para satisfacer la demanda de energía.

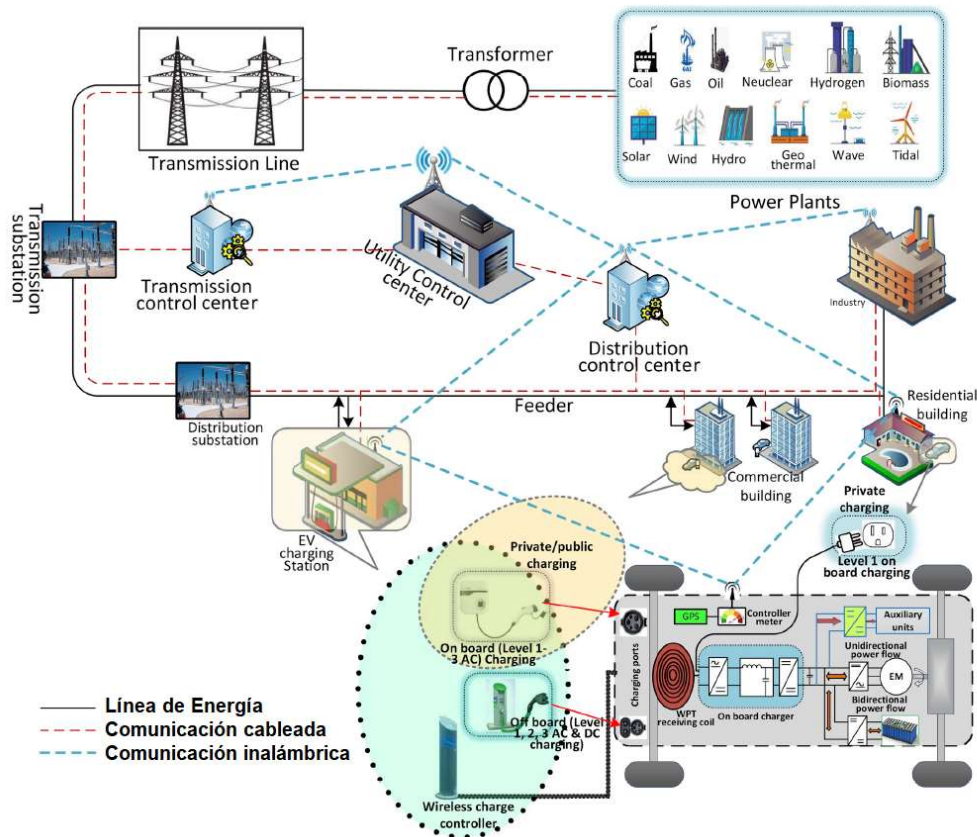


Figura 2.7 Infraestructura general de estaciones de carga [1].

2.9.1 Infraestructura de energía en la carga de vehículos eléctricos

La infraestructura de energía brinda un circuito o sistema eléctrico para el flujo de energía entre los vehículos eléctricos y la red. Puede clasificarse según los tipos de energía utilizados, la acomodación del circuito de carga, los requisitos de contacto físico y la dirección del flujo de energía [18]. La Figura 2.8 muestra un esquema general de infraestructuras de carga de VE, en ella se puede observar cargadores On-Board, Off-Board y cargadores con capacidad de carga inalámbrica. La recarga de las baterías de los vehículos eléctricos utiliza fuentes de alimentación tanto en CA o DC. La carga de CA tiene diferentes niveles de voltaje y frecuencia, esto va depender del sistema de energía de cada país. En términos de los niveles de voltaje, la carga de CA se puede dividir en los niveles 1, 2 y 3, donde el nivel 3 tendrá el voltaje superior de carga. Las instalaciones de carga de los Niveles 1 y 2 se pueden instalar en un lugar residencial mientras que instalaciones de carga de Nivel 3 lo que implican cableado y transformador separados, requiere permiso de los proveedores de servicios públicos y generalmente se construyen en centros comerciales. Al mismo nivel de voltaje, la carga en DC es más rápida y, por lo general, tiene una alta capacidad de potencia de carga.

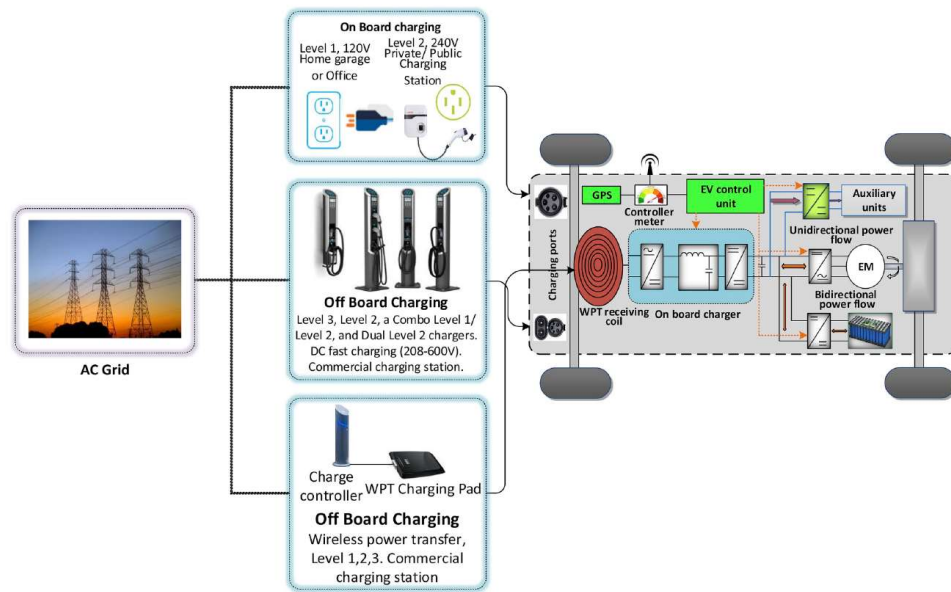


Figura 2.8 Infraestructura energética en infraestructura de carga de VE [1].

2.9.2 Control y comunicación en infraestructuras de carga de VE

El sistema de control y comunicación es el elemento fundamental para la monitorización y el control en tiempo real de la carga de vehículos eléctricos [19]. A pesar de que la carga de vehículos eléctricos representa una demanda de carga adicional en el sistema de energía, se puede programar para reducir la demanda máxima y el costo de carga mediante la gestión y coordinación adecuadas de las estaciones de carga de vehículos eléctricos conectadas a la red en función de la arquitectura de control y la infraestructura de comunicación involucrada en la carga de VE.

2.9.2.1 Coordinación de carga

En este aspecto, la carga de VE seguirá dos métodos: control de carga no coordinado y coordinado. La carga no coordinada significa que las baterías de los vehículos eléctricos comienzan a cargarse inmediatamente cuando se enchufan o comienzan después de un retraso fijo ajustable por el usuario y continúan la carga hasta que estén completamente cargadas o desconectadas [20]. Las operaciones de carga no coordinadas tienden a aumentar la carga en las horas punta y pueden provocar sobrecargas en los transformadores y cables de distribución, aumento de las pérdidas de potencia y reducción de la fiabilidad de la red [21].

Las empresas que brindan el servicio de carga ofrecen una tarifa superior a la habitual a los propietarios de vehículos eléctricos como una forma de reducir las cargas pico.

Por otra parte, la carga coordinada o llamada inteligente optimiza el tiempo y la demanda de energía, y reduce por supuesto los costos diarios de consumo de electricidad, las desviaciones de

voltaje, las corrientes de línea y las sobrecargas de los transformadores. Un método de carga coordinado común es la carga fuera de las horas pico, donde los VE se cargan en un momento específico del día cuando la carga de la red es mínima. Esto resuelve parcialmente el problema de la sobrecarga, sin embargo, es necesario determinar la información de hora específica del día de los proveedores de servicios públicos. Además, puede afectar la conveniencia de los usuarios de VE para cargar el VE [22].

2.9.2.2 Red de comunicación para la carga de vehículos eléctricos

Es necesario un sistema de comunicación eficaz entre los vehículos eléctricos, los vehículos eléctricos y la red eléctrica para una gestión inteligente de la carga de los vehículos eléctricos. En la Figura 2.9 se observa diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica de área personal (WPAN) como Zigbee (IEEE 802.15.4), VANET, Bluetooth (IEEE 802.15.4), GSM, Wi-Fi, Ethernet. Cada una de estas tecnologías de comunicación inalámbrica ayudarán a monitorear el estado de carga del vehículo, así como valores de consumo energético y todo esto almacenar en un servidor de base datos para posterior hacer un estudio en base a ellos.

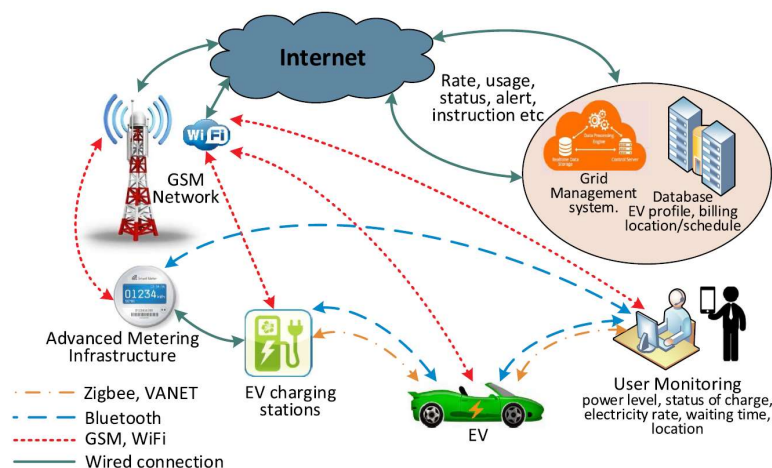


Figura 2.9 Red de comunicación para carga de VE [1]

Los protocolos de comunicación disponibles pueden clasificarse en tecnologías de comunicación por cable e inalámbricas. Estas tecnologías se aplican para la integración de la red de vehículos eléctricos en diferentes redes privadas, como la red de área doméstica (HAN), la red de área industrial (IAN), la red de área de construcción (BAN), la red de área de vecindario (NAN) y la red de área de campo (FAN). Estas redes se utilizan para controlar y monitorear la carga / descarga de vehículos eléctricos y otros usos domésticos de la electricidad.

2.10 Infraestructura física de estación de carga semi-rápida para VE en CA.

2.10.1 Dimensiones de infraestructura de estaciones de carga

Las normas no son específicas en relación a dimensiones de infraestructura física de estaciones de carga se refiere, tanto para carga CA o CC. Las dimensiones de estaciones de carga van a depender del nivel o modo que se esté trabajando, por ejemplo, para estaciones de carga bajo el modo 1 donde estas son de tipo residenciales no requieren de mayor espacio para colocarlos, además no se requiere de sistemas y protecciones eléctricas robustos. La norma IEC 61851-1 para el modo 3 de carga en estaciones de carga en exteriores no da detalles sobre dimensiones de las infraestructuras, pero brinda muchas recomendaciones sobre las instalaciones de esta y seguridades que se debe tomar en cuenta. Es por ello que muchos fabricantes de estaciones de carga desarrollan sus propios diseños de estaciones siguiendo las recomendaciones dadas por la IEC 61851-1. Más adelante el estudio compara 4 estaciones de carga en CA que se pueden encontrar en el mercado mundial.

A continuación, se presenta las partes más importantes de una infraestructura de estación de carga semi-rápida en CA, como ejemplo se utilizará el modelo NKR-AC 63 kW, que representa el modo de carga tratado en este trabajo de titulación. En la Figura 2.10 se observa una estación de carga a 43 kW de potencia máxima de salida en AC de tipo comercial. Esta estación en particular cuenta con dos conectores para cargar dos VE de manera simultánea por lo que se precio de venta es superior a estaciones de carga de un solo conector.



Figura 2.10 Estación comercial con capacidad de doble carga a 43 kW/ 63 A

Como se observa en la Figura 2.11 se tiene una estación de carga con doble conector, esta estación opera con una potencia nominal de 43 kW y su fuente de alimentación debe ser trifásica para

que pueda funcionar, por lo que se clasifica como una estación de carga semi-rápida en CA de acuerdo a la norma IEC 61851-1. Cuenta también con una pantalla táctil para así controlar la carga del VE, también se controla los usuarios que deseen cargar su VE, tiene conexiones a la red mediante 3G/4G, Wi-Fi o cableado. A más de lo que se ha mencionado cuenta con protecciones para el usuario como por ejemplo un interruptor diferencial para el caso de existir corrientes residuales en la estación de carga debido a una mala conexión dentro de la estación. En la Figura 2.11, se tiene una vista del interior de la estación de carga donde se muestran algunas partes de ella.

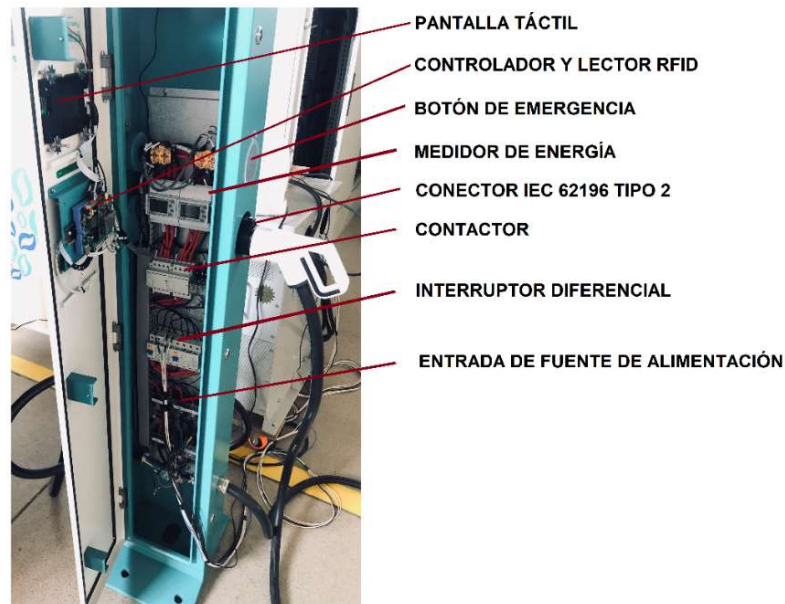


Figura 2.11 Vista Interior de una estación de carga a 43kW

A continuación, partir del modelo estudiado, se presenta un esquema general de una estación de carga semi-rápida en CA como se observa en la Figura 2.12 se tiene varios componentes entre ellos electromecánicos, eléctricos, electrónicos. En primer lugar, se tiene la fuente de energía trifásica con un voltaje de 220 VCA, seguido de ello se tiene un transformador elevador de 220 VCA a 380 VCA para alcanzar los 43 kW de potencia nominal necesarios para cargar un VE bajo el modo 3, después se tiene un interruptor diferencial, esto es importante para la seguridad de las personas y de la estación, luego se tiene un medidor de energía junto con los sensores de corriente, el medidor tendrá conexión RS485 para comunicación con un dispositivo microcontrolador mediante el protocolo MODBUS. Para controlar la carga, los usuarios y visualizar diferentes valores de la estación se cuenta con una interfaz de usuario-estación, con ella se puede interactuar y ver las opciones que ofrece la estación. Todo el control de la estación la va hacer el dispositivo microcontrolador el cuál será el “cerebro” de la estación, este dispositivo será el encargado de comunicarse con el vehículo eléctrico a través de sus salidas digitales llevando consigo mensajes de confirmación de conexión con el VE entre otros. La comunicación entre VE y estación de carga se describirá en el Capítulo 3.

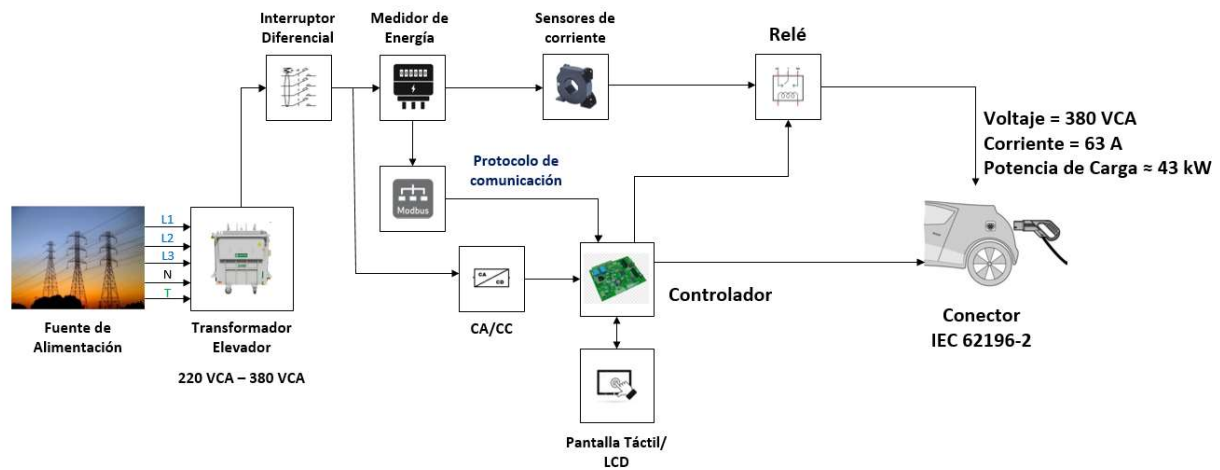


Figura 2.12 Diagrama general de una estación de carga bajo el modo 3


2.10.2 Estaciones de carga semi-rápida existentes en el mercado actual

Se ha investigado varias infraestructuras de estaciones de carga semi-rápida en modo 3 en CA que existen en el mercado actualmente. Las estaciones tienen varios fabricantes por ende varias estaciones tendrán diferentes características, pero si están dentro del segmento modo 3 con potencia nominal de 43kW se le considera una estación semi-rápida según la norma IEC61851-1.

El estudio compara 4 estaciones de carga comerciales que permiten suministrar energía a VE en el modo 3 en AC, y se detallan en las siguientes tablas. Se podrá encontrar características técnicas que cumplirán con el estándar europeo IEC 61851-1. Las estaciones que se verán cumplen con requisitos técnicos de seguridad, tales como Breaker, dispositivos RCD, la potencia que ofrecen las estaciones bajo este modo trabajan desde los 22 kW hasta los 43 kW de potencia nominal. También dentro de este segmento se combinan las estaciones de carga rápida para ofrecer una variedad de carga para VE, es decir integrar en la misma infraestructura de carga tanto la carga rápida como carga semi-rápida. Las estaciones trabajan a diferentes frecuencias ya que en cada país tiene su propia regularización de frecuencia de operación de las redes eléctricas. Es necesario el uso de transformadores elevadores para alcanzar niveles de tensión de hasta 400 VCA necesarios para alcanzar los niveles de potencia que se requieren para cargar el VE.


La Tabla 2.6 muestra una estación de carga de fabricación China, sus principales características permiten que trabaje a 22 kW, 43 kW a 32 A y 64 A respectivamente. Posee conector de carga bajo el estándar IEC 62196 tipo 2, sistemas de seguridad para detener la carga por situaciones de emergencia, interruptor diferencial para las corrientes de fuga o corrientes residuales. Su frecuencia de operación trabaja en varios rangos desde los 45 Hz hasta los 65 Hz con lo que es óptimo para trabajar en varios países donde la frecuencia de la red eléctrica es distinta en cada uno de ellas. Como método de validación de usuarios la estación posee, RFID y una app móvil. Protocolo OCPP desde la versión 1.6 hasta la 2.0. El precio de esta estación de carga ronda los \$2,467.00.

Tabla 2.6 Estación de recarga marca HICONICS [23]

	Lugar de origen	Hubei, China
	Marca	HICONICS, HICONICS
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	400 V CA Trifásico
	Corriente de entrada	32A 22kW/ 63A 43kW
	Frecuencia de operación	45-65Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	22kW/43kW Trifásico
	Voltaje de salida	400 V CA Trifásico
	Corriente de salida	32A 22kW/ 63A 43kW
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, Circuitos de protección, Botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra
Otras características	Modo de caga	Plug Tipo 2, RFID, App móvil
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J hasta 2.0
	Clase IP	IP55
	Pantalla	7 pulgadas táctil
	Conexión a la red	4G, Ethernet/LAN
Precio	1 estación	\$2,467.00


La Tabla 2.7 muestra una estación de carga de fabricación China, su infraestructura es más grande que el anterior, sus principales características permiten que trabaje a una potencia nominal de 43 kW. Posee conector de carga bajo el estándar IEC 62196 tipo 2, sistemas de seguridad para detener la carga por situaciones de emergencia, interruptor diferencial para las corrientes de fuga o corrientes residuales. Su frecuencia de operación trabaja en varios rangos desde 50 Hz o 60 Hz con lo que es óptimo para trabajar en varios países donde la frecuencia de la red eléctrica es distinta en cada uno de ellas. Permite trabajar en modo 4 debido a que la potencia de entrada puede alcanzar los 150 kW, para ello la estación debe intercambiarse de conector y otros sistemas a fin de que se adapte correctamente al modo 4. Esta es una gran ventaja, pero también conlleva a que el precio se eleve un poco más. Además de tener una pantalla táctil de mayor tamaño de 10". El precio de esta estación de carga ronda los \$4,999.00.

Tabla 2.7 Estación de carga SICON EMI [24]

	Lugar de origen	Zhejiang, China
	Marca	SICON EMI
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	400V CA Trifásico
	Corriente de entrada	87A 60kW/ 217A 150kW
	Frecuencia de operación	50 o 60Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	43kW Trifásico
	Voltaje de salida	400V CA Trifásico
	Corriente de salida	63 A
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, Circuitos de protección, Botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra
Otras características	Modo de caga	Plug Tipo 2, RFID, App móvil
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J hasta 2.0
	Clase IP	IP55
	Pantalla	10 pulgadas táctil
	Conexión a la red	3G, 4G, Ethernet/LAN
Precio	1 estación	\$4,999.00

La Tabla 2.8 muestra una estación de carga de fabricación China, su infraestructura se caracteriza por tener varios conectores bajo diferentes estándares para cargar VE entre ellos uno en CA, como principales características permite que trabaje a una potencia nominal de 43 kW en CA. Posee conector de carga bajo el estándar IEC 62196 tipo 2, conector CCS y CHAdeMO, sistemas de seguridad para detener la carga por situaciones de emergencia, interruptor diferencial. Además posee una pantalla táctil de 7". El precio de esta estación de carga ronda los \$15,000.00, el precio es elevado debido a los diferentes conectores que posee y a los sistemas eléctricos que conlleva cada uno de ellos, tales como convertidores de potencia, transformadores de aislamiento.


Tabla 2.8 Estación de carga marca AO NENG [25]

	Lugar de origen	Zhejiang, China
	Marca	AO NENG
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	400 VCA Trifásico
	Corriente de entrada	No especifica
	Frecuencia de operación	50 Hz o 60 Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	43 kW Trifásico
	Voltaje de salida	400 VCA Trifásico
	Corriente de salida	63 A/125 A
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, Circuitos de protección, Botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra
Otras características	Modo de caga	Plug Tipo 2, Plug CHAdeMO, CCS2, RFID, App móvil, NFC
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J
	Clase IP	IP54
	Pantalla	7 pulgadas táctil
	Conexión a la red	3G, 4G, Ethernet/LAN
Precio	1 estación	\$15,000.00

La Tabla 2.9 muestra una estación de carga de fabricación en Suiza, sus principales características permiten que trabaje a una potencia nominal de 43 kW o hasta 50 kW en DC. Posee conector de carga bajo el estándar IEC 62196 tipo 2, conector CHAdeMO, CCS, sistemas

de seguridad para detener la carga por situaciones de emergencia, interruptor diferencial. Además de tener una pantalla táctil de 4.3". El precio de esta estación de carga ronda los \$31,000.00. Su precio es elevado debido a que trabaja bajo el modo 4 en conjunto con la carga en AC por lo que el precio para una estación con carga simultánea es muy elevado.

Tabla 2.9 Estación de carga marca ABB Terra 54 G [26].

	Lugar de origen	Zürich, Suiza
	Marca	ABB TERRA 54 G
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	400 VCA Trifásico
	Corriente de entrada	80 A
	Frecuencia de operación	50 Hz o 60 Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	22 kW, 43 kW, 50 kW Trifásico
	Voltaje de salida	400 VCA Trifásico
	Corriente de salida	63 A
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, circuitos de protección, botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra, protección altas temperaturas
Otras características	Modo de caga	CHAdemo, CCS, Plug Tipo 2, RFID, App móvil, NFC
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J
	Clase IP	IP54
	Pantalla	4.3 pulgadas táctil
	Conexión a la red	3G, 4G, Ethernet/LAN
Precio	1 estación	31,000.00

A continuación, en la Tabla 2.10 algunas marcas de vehículos eléctricos que aceptan este tipo de carga bajo el modo 3 o semi-rápida en AC a través del conector IEC 62196 tipo 2. Cada modelo de vehículo tendrá diferente capacidad de almacenamiento en la batería por lo que el tiempo de carga va depender debido a este factor. La potencia bajo este modo es superior respecto a estaciones de carga lenta de 7 kW por lo que el tiempo de carga se verá reducido en gran medida.

Tabla 2.10 Vehículos eléctricos con conector IEC 62196 tipo 2

MARCA	MODELO
BMW	i3
BMW	i8
BYD	E5
BYD	E6
Renault	Zoe
Renault	Kangoo ZE
Tesla	Model S
Volvo(Híbrido)	V60
VW	E-up
Audi	A3
Audi	E-tron
Mercedes Benz	S500
Porsche	Panamera
Nissan	Leaf
Hyundai	Kona

2.10.3 Comparación de las estaciones de carga semi-rápida descritas en la sección anterior

Como se ha visto en las Tablas 2.6 y 2.7 estas estaciones son de carga individual, es decir solo cargan un vehículo eléctrico con su infraestructura. El precio de la estación de la Tabla 2.7 resulta ser el doble por lo que en base a investigaciones la infraestructura permite cambiar de conector e incluso trabajar directamente bajo el modo 4 ya que la potencia de entrada está bajo los 150 kW donde resultaría ser una estación de carga rápida si el conector se cambiaría a uno compatible con este modo. Las estaciones de las Tablas 2.8 y 2.9 son más costosas debido a que son estaciones que integran el modo 4 de carga en su infraestructura, integrar el modo 4 conlleva a implementar más elementos que permitan trabajar a altas potencias bajo este modo. Una de las ventajas de estas estaciones es que permiten la carga de vehículos eléctricos tanto en AC como DC de manera simultánea es por ello que el precio es elevado a comparación de estaciones de carga de un conector en AC. En cuanto a funcionabilidad todas las estaciones poseen características similares. La calidad de los materiales y el material de la infraestructura influyen de manera significativa en el precio final del producto.

2.11 Infraestructura física de estación de carga rápida para VE en CC

Los desarrollos en el diseño de los cargadores rápidos en corriente continua han contribuido a la reducción de los tiempos de recarga como ya se mencionó. Sin embargo, las estaciones que tienen esta capacidad de recarga deben controlar las altas temperaturas que se producen en los cables y conectores. También existen estaciones que disminuyen la intensidad de corriente y aumentan

el voltaje. El estándar SAE especifica un voltaje de 200 V a 600 V con corriente de 400 A y potencia de 240 kW para el nivel 3 en CC. En cambio, el estándar IEC 61851-1 menciona el modo 4 para las estaciones de carga en CC y los niveles de potencia varían de acuerdo al tipo de conector que se ocupe. El conector CHAdeMO por ejemplo puede recargar un vehículo en menos de media hora y, la carga ultrarrápida, en menos de quince minutos, dependiendo de la capacidad del almacenamiento de la batería y el estado de carga inicial.

Dicho todo esto, las infraestructuras de carga rápida deben ser lo suficientemente robustas para estos niveles de tensión y corriente, también deben garantizar seguridad al usuario y entorno.

A continuación, véase la Figura 2.13 una infraestructura de estación de carga rápida en DC ubicado en el Laboratorio de Micro-Red en el campus Balzay:



Figura 2.13 Infraestructura de estación de carga rápida

Como se observa en la Figura 2.14 y 2.15 se presenta algunas características físicas que posee una estación de carga rápida, estas estaciones comúnmente vienen integradas con una pantalla táctil para interactuar con la estación además de diferentes conectores de carga para diferentes estándares de VE. Al ser una estación de carga rápida su infraestructura es más robusta que una estación de carga semi-rápida ya que posee varios elementos entre ellos convertidores de corriente alterna a corriente continua, disipadores para disminuir las elevadas temperaturas que produce la estación, módulos de potencia, además este tipo de estaciones llevan su propio transformador para elevar el nivel de voltaje. Hoy en día las estaciones de carga rápida en CC tienen un costo elevado por todos los elementos que poseen, pero su principal ventaja frente a las estaciones de carga semi-rápida es el tiempo de recarga. El tiempo que toma cargar un VE va ser menor en comparación a estaciones de carga lenta debido a su capacidad de entregar mayor potencia nominal que es igual o superior a los 50 kW [27].

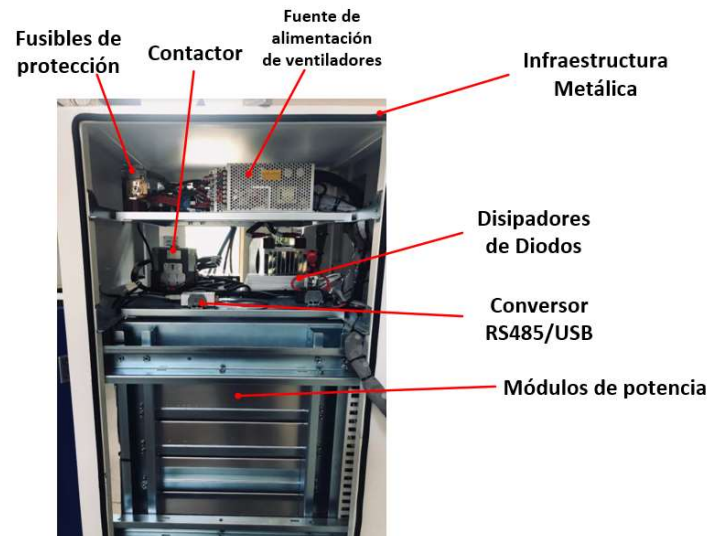


Figura 2.14 Interior de una estación de carga rápida parte 1



Figura 2.15 Interior de una estación de carga rápida parte 2


A diferencia del esquema anterior de estación de carga semi-rápida, las estaciones de carga rápida implementan convertidores de corriente alterna a corriente continua, módulos de potencia, disipadores, breaker termo magnéticos, dispositivos de protección contra sobretensiones, interruptores diferenciales, transformador, contactores, además los niveles de potencia que maneja son muy altos por lo que la estación debe ser construida bajo estándares de seguridad. Esta estación como se mencionó anteriormente resulta ser muy costoso por los sistemas que implementa en especial por los módulos de potencia y controladores. El conector más común utilizado es el CHAdeMO o el conector CCS. Cargar en este modo a más de 50kW de potencia permitirá recargar un vehículo como mínimo un 70% de la capacidad de la batería en menos de 30 minutos, pero esto siempre va depender de la capacidad de almacenamiento de la batería y del estado actual de carga de la batería. En el caso del conector CHAdeMO puede suministrar hasta 62.5kW, 500V, 125A de corriente continua a través de su conector. En cambio, el conector CCS trabaja en los 50 kW de potencia nominal según el estándar de carga rápida o modo 4 IEC 62196-3.

2.11.1 Estaciones de carga rápida en CC existentes en el mercado actual

El estudio compara 4 estaciones de carga comerciales que permiten suministrar energía a VE en DC, modo 4 o carga rápida como se conoce comúnmente. Estas estaciones son muy costosas por su infraestructura donde se requiere más sistemas de seguridad y control a comparación de estaciones de carga en CA.


En la Tabla 2.11 se observa una estación de carga comercial de fabricación China, posee dos conectores CCS y CHAdEMO para carga rápida en DC. Su precio está en los \$15,000.00.

Tabla 2.11 Estación de carga rápida marca Grasen [28].

	Lugar de origen	Henan, China
	Marca	Grasen
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	260 VCA - 530 VCA Trifásico
	Corriente de entrada	-
	Frecuencia de operación	50Hz o 60Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	150 kW
	Voltaje de salida	400 VCC
	Corriente de salida	250 A
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, circuitos de protección, botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra, protección altas temperaturas
Otras características	Modo de caga	Plug CCS, CHAdEMO, RFID, App móvil, NFC
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J
	Clase IP	IP55
	Pantalla	8 pulgadas táctil
	Conexión a la red	3G, 4G, Ethernet/LAN
Precio	A partir de 10	\$15,000.00


En la Tabla 2.12 se observa otra estación de carga comercial de fabricación China, posee dos conectores CCS y CHAdeMO para carga rápida en DC. Su precio está en los \$15,000.00. La potencia que maneja es de hasta 180 kW, en el ámbito de la electromovilidad estas estaciones se consideran como estaciones de carga super rápida o ultra rápidas

Tabla 2.12 Estación de carga rápida Hiconics [29].

	Lugar de origen	Hubei, China
	Marca	Hiconics
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	400 VCA Trifásico
	Corriente de entrada	-
	Frecuencia de operación	40 Hz o 60 Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	30 kW- 180 kW
	Voltaje de salida	150 V-1000 V CC
	Corriente de salida	267 A
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, circuitos de protección, botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra, protección altas temperaturas
Otras características	Modo de caga	Plug CCS, CHAdeMO, RFID, App móvil, NFC
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J
	Clase IP	IP54
	Pantalla	8 pulgadas táctil
	Conexión a la red	3G, 4G, Ethernet/LAN
Precio	1 estación	\$40,300.00


En la Tabla 2.13 se observa otra estación de carga comercial de fabricación China, posee dos conectores CCS y CHAdeMO para carga rápida en DC. Su precio está en los \$15,000.00.

Tabla 2.13 Estación de carga rápida marca SCU [30].

	Lugar de origen	Hebei, China
	Marca	SCU
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	260V-530V CA Trifásico
	Corriente de entrada	No especifica
	Frecuencia de operación	50Hz o 60Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	60kW CC o 22kW
	Voltaje de salida	150V-1000V CC
	Corriente de salida	200A
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, circuitos de protección, botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra, protección altas temperaturas
Otras características	Modo de caga	Plug CCS, CHAdeMO, RFID, App móvil, NFC
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J a 2.0
	Clase IP	IP55
	Pantalla	7 pulgadas táctil
	Conexión a la red	3G, 4G, Ethernet/LAN
Precio	1 estación	\$14,999.00

En la Tabla 2.14 se observa otra estación de carga comercial de fabricación China, a diferencia del resto solo posee un conector CHAdeMO para cargar VE para carga rápida en DC y además su precio está en los \$11,000.00 lo que resulta ser una alternativa de bajo costo.

Tabla 2.14 Estación de carga rápida marca PowerCore [31]

	Lugar de origen	Nanjing, China
	Marca	PowerCore
Características de entrada	Voltaje de entrada nominal	380 VCA Trifásico
	Corriente de entrada	91 A
	Frecuencia de operación	50 Hz o 60 Hz
	Modo de entrada CA	3F+N+PE
Características de salida	Potencia de salida	45 kW-120 kW
	Voltaje de salida	150 V-1000 V CC
	Corriente de salida	200 A
Características de protección	Protecciones	Funciones de protección de sobre voltaje entrada como salida, circuitos de protección, botón de emergencia, RCD protección, protección a tierra, protección altas temperaturas
Otras características	Modo de caga	CHAdeMO, RFID, App móvil, NFC,PLC
	Protocolo de comunicación	OCPP 1.6J a 2.0
	Clase IP	IP54
	Pantalla	8 pulgadas táctil
	Conexión a la red	3G, 4G, Ethernet/LAN
Precio	1 estación	\$11,400.00

Como se ha visto existen varias estaciones de carga en el mercado principalmente de origen asiático, se investigó estaciones en este lugar porque los costos en este sector son relativamente económicos respecto a estaciones de marcas europeas. Las infraestructuras de estas estaciones son más robustas y más grandes en comparación a estaciones en AC debido a todos los sistemas eléctricos que poseen además de que estas estaciones consumen gran cantidad de energía por lo que se necesita de varios sistemas de protección. Las estaciones de carga rápida en DC requieren de mayor ventilación por ende las infraestructuras vistas poseen rejillas en sus infraestructuras para que haya mayor circulación de aire el cual se produce con ventiladores que están instalados

dentro de ellas. Por ejemplo, en la Figura 2.16 se ve una estación con una rejilla en su puerta lateral para la circulación de aire. Los estándares no son específicos en las dimensiones de las infraestructuras de carga, por lo que los fabricantes desarrollan sus propios métodos de refrigeración a fin de mantener la vida útil de la estación. Para mejor la refrigeración lo que se ha investigado es que las estaciones usan disipadores de calor de gran magnitud y varios ventiladores lo que hace que la estación se mantenga refrigerada lo que conlleva a mayor ruido por parte de la estación. Sin embargo, la ventaja significativa de las estaciones de carga rápida es el tiempo de carga de un vehículo eléctrico debido a la mayor potencia que se inyecta en las baterías del vehículo a través del respectivo conector sea CCS o CHAdeMO.



Figura 2.16 Estación de carga rápida SICON

A continuación, se muestra la Tabla 2.15 donde se presentan algunos vehículos eléctricos de diferentes fabricantes que cuentan con capacidad de carga rápida en DC.

Tabla 2.15 Vehículos con conector CCS Combo

MARCA	MODELO
Audi	e-tron
BMW	i3
Opel	Ampera-e
Hyundai	Ioniq
Hyundai	Kona
Jaguar	I-Pace
Lotus	Evija
Mercedes-Benz	EQC
Mini Cooper	SE
Opel	Corsa-e
Peugeot	e-208
Peugeot	e2008
Polestar	2
Porsche	Taycan

Tesla	Model 3
Tesla	Model Y
Volkswagen	e-Golf
Volkswagen	e-up
Volkswagen	ID.3

Como se observa en la Tabla 2.15 existen varios vehículos eléctricos de diferentes fabricantes con los cuales se tiene una diversidad de vehículos en el mercado y ello la necesidad de desarrollar más estaciones de carga que sea acorde a las especificaciones de diferentes conectores bajo la norma IEC 62196-3 encargada de los conectores en DC.

2.11.2 Comparación de las estaciones de carga rápida descritas en la sección anterior

Las estaciones de carga rápida que se observan desde la Tabla 2.11 hasta la Tabla 2.14 ofrecen similares funciones, la estación de la Tabla 2.11 posee carga simultánea en DC con potencia máxima de salida de hasta 150 kW. La estación de la Tabla 2.12 puede cargar un VE con una potencia de salida de 180 kW. La estación de la Tabla 2.13 en cambio puede cargar hasta una potencia de 60 kW. Y por último la estación de la Tabla 2.14 puede cargar un VE con una potencia de hasta 120 kW, pero solamente posee un conector para la carga rápida. Los costos de las estaciones de carga rápida son muy elevados debido a varios elementos que son necesarios para su funcionamiento, entre ellos los convertidores de potencia, estos elementos varían su precio en función de la potencia a convertir por lo que este parámetro es importante en el valor del precio final de la estación. La estación de la Tabla 2.12 por ejemplo puede cargar hasta una potencia de 180 kW por lo que los elementos deben trabajar bajo estas condiciones y el precio va a aumentar significativamente debido a que se necesitan conversores de elevadas potencias.

2.12 Comparación del tiempo de carga de acuerdo a la capacidad de almacenamiento de batería en los VE.

Como se observa en la Tabla 2.16 se tiene una comparación de diferentes vehículos que permiten la carga semi-rápida en CA bajo el estándar IEC 61851-1, sin embargo, algunos de estos VE aceptan cargas en CC para carga rápida, como se ha mencionado antes los vehículos con carga semi-rápida se suelen denominar estaciones de carga rápida, pero esto va depender del nivel de potencia y si se trabaja en DC o AC. La siguiente tabla muestra los VE que aceptan carga en CA a 43 kW de potencia nominal con el conector del estándar IEC 62196 tipo 2. Como se puede observar el tiempo de carga de los VE va depender de la capacidad de almacenamiento de las baterías, a mayor capacidad como el caso de los vehículos Tesla el tiempo de carga tomará más tiempo a comparación de un BMW i8 que posee poca capacidad de almacenamiento. Se debe tener en cuenta que la recarga va ser hasta completar el 80% de la capacidad de almacenamiento de la batería del VE ya que pasado este porcentaje podría ocasionar daños a la batería del VE

si se entregará toda la potencia cuando la batería está casi llena, por seguridad el VE permite que se le entregue 43 kW de potencia nominal hasta ese porcentaje, luego el BMS comunica al vehículo que se ha cargado al 80% y que disminuya su nivel de potencia o simplemente deje de cargar al vehículo. Con esto se logra también aumentar la vida útil de las baterías del VE.

Tabla 2.16 Capacidad de almacenamiento y estimación de tiempo de carga de los VE a 43kW CA

Vehículo	Tipo	Capacidad de batería(kWh)	Promedio distancia recorrido(km)	Tiempo de carga (0%-80%) h
BMW i8	PHEV	7.1	24-37	1
Volvo V60	PHEV	11.2	28	1
Volkswagen e-Up!	BEV	16	95	1
Audi A3	PHEV	8.8	28	1
Mercedes Benz S500	PHEV	8.7	33	1
Porsche Panamera	PHEV	14.1	38	1
Nissan Leaf	BEV	40	243	1.5
BMW i3	BEV	33	183	1.5
Renault Kangoo	BEV	31	230	1.5
BYD E5	BEV	60	400	2
Renault Zoe	BEV	52	400	2
Hyundai kona	BEV	64	390	2
BYD E6	BEV	82	400	3
Audi e-tron	BEV	95	328	3
Tesla Model S	BEV	100	506	3.5

A continuación, se presenta la Tabla 2.17 donde se verán diferentes vehículos que aceptan carga rápida, estas estaciones entregan potencia nominal superiores a los 50 kW o más dependiendo si el fabricante del VE lo permite. Si se compara con la tabla anterior se observa que los tiempos son bastante reducidos lo que se traduce en una mayor ventaja y satisfacción para el usuario.

Tabla 2.17 Vehículos con capacidad de carga rápida a 150 kW

Vehículo	Tipo	Capacidad de batería(kWh)	Promedio distancia recorrido(km)	Tiempo de carga (0%-80%) min
BYD E5	BEV	60	400	20
Hyundai Kona	BEV	64	390	20
Tesla Model Y	BEV	75	402	22
Tesla Model 3	BEV	80.5	500	28
Chevrolet Bolt	BEV	60	383	30
Hyundai Ioniq	BEV	38.3	250	30
Volkswagen e-Up!	BEV	16	95	30

Polestar 2	BEV	72.5	380	30
Tesla Model S	BEV	100	506	30
BMW i3	BEV	33	183	30
Audi e-tron	BEV	95	328	30
Jaguar I-Pace	BEV	90	470	40

Como se observa en la Tabla 2.17 los tiempos son considerablemente reducidos, esto representa una gran ventaja para el usuario, sin embargo la desventaja de cargar a esta capacidad es disminuir la vida útil de las baterías que generalmente son de Ion-litio, esta tecnología es reciente, pero su densidad energética por unidad de peso es mayor a comparación de baterías de plomo por lo que se traduce en mayor almacenamiento de energía en un tamaño reducido, alta eficiencia, ausencia de mantenimiento y facilidad a la hora de reciclar los desechos de Ion-litio [32].

Los sistemas propios de los VE limitan el nivel de potencia que se entrega a las baterías es por ello que la potencia se reduce a los 120 kW o 100 kW esto como medida de seguridad y para preservar la vida útil de las baterías.

En la Figura 2.17 se observa el perfil de carga de un VE Nissan Leaf con capacidad de almacenamiento de 24 kWh. La gráfica muestra carga rápida usando el protocolo CHAdeMO y conector del mismo nombre, se observa que la carga inicial empieza con una corriente de alrededor 100 A, a medida que el vehículo va cargándose la intensidad va disminuyendo según el porcentaje de carga de la batería cuando esta aumenta, esto con el fin de preservar la batería y como medida de seguridad para no entregar toda la potencia cuando la carga llegue al 80%. Se observa que la recarga en este vehículo tomó alrededor de 40 minutos.

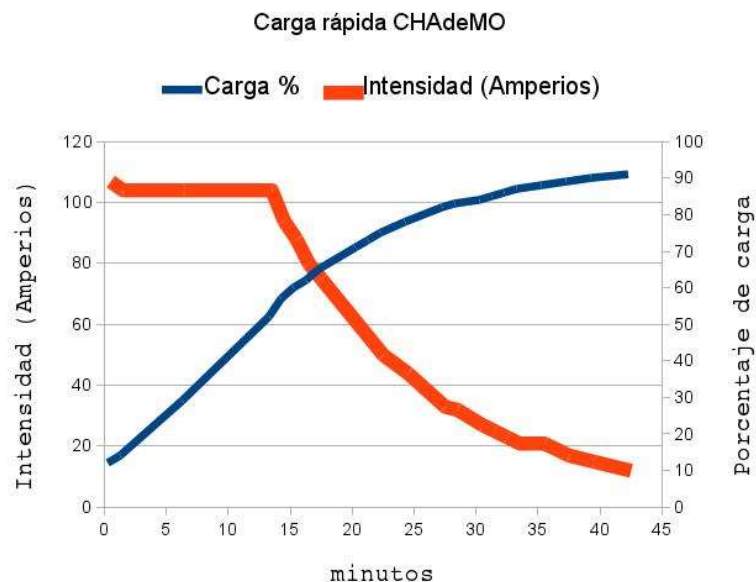


Figura 2.17 Intensidad y porcentaje de carga de un Nissan Leaf 24 kWh [33].

2.13 Open Charge Point Protocol (OCPP)

El protocolo de punto de carga abierto (OCPP) es un estándar abierto iniciado por E-laad que describe un método que permite a los vehículos eléctricos comunicarse con un sistema central [36]. OCPP cuenta con varias versiones que van desde la 1.0, pasando por la 1.2, 1.5, 1.6, 2.0 y 2.0.1.

2.13.1 OCPP v1.5

Esta versión de ocpp se basa en el protocolo simple de acceso a objetos o SOAP. SOAP es un marco que permite enviar mensajes entre componentes a través de Internet. La ventaja de SOAP es que las facilidades para enviar y recibir mensajes están cubiertas por el estándar. El contenido de un mensaje SOAP se elabora de acuerdo con el estándar Extensible Markup Language (XML). Este lenguaje está relacionado con el HTML que conocemos de Internet. Además del texto escrito, los mensajes XML también pueden contener imágenes y código ejecutable. La gran ventaja es que los mensajes se envían en texto legible [36].

Estructura OCPP. - Se describen 25 operaciones en OCPP 1.5. De éstos, 10 son iniciados por la estación de carga y 15 por el sistema central.

Iniciado por el punto de carga: Autorizar, Notificación de arranque, Transferencia de datos, Notificación de estado de diagnóstico, Notificación de estado de firmware, Latido de corazón o conocido como Heartbeat, Valores del medidor, Iniciar transacción, Notificación de estado, Detener transacción

Iniciado por el sistema central: Cancelar la reserva, Cambiar disponibilidad, Cambiar configuración, Limpiar cache, Transferencia de datos, Obtener configuración, Obtener diagnósticos, Obtener versión de lista local, Transacción de inicio remoto, Transacción de parada remota, Reservar ahora, Reiniciar, Enviar lista local, Desbloquear conector, Actualice el firmware.

Cuando la comunicación tiene lugar entre una estación de carga y el sistema central, siempre comienza con una solicitud. En la especificación OCPP, esto se describe con *nombreoperación.req()*. El destinatario del mensaje siempre responderá con una confirmación. En la especificación OCPP, una confirmación se describe como *nombreoperación.conf()*. La Figura 2.18 muestra el flujo de comunicación para la operación Autorizar. Muestra que el punto de carga envía un mensaje al sistema central, Authorization.req() y obtiene una respuesta en forma de Authorization.conf()[36].

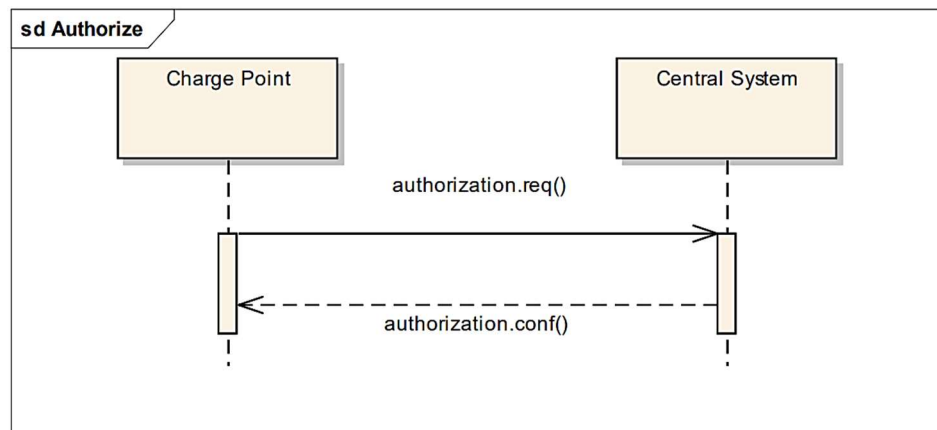


Figura 2.18 flujo de comunicación para la operación Autorizar [36].

2.13.2 Protocolo de punto de carga abierto versión 1.6

OCPP 1.6 introduce nuevas características para adaptarse al mercado: carga inteligente, OCPP usando JSON sobre Websockets, mejores posibilidades de diagnóstico (motivo), más estados de punto de carga y TriggerMessage. OCPP 1.6 se basa en OCPP 1.5, con algunas características nuevas y muchas mejoras textuales, aclaraciones y correcciones. Debido a las mejoras y nuevas funciones, OCPP 1.6 no es compatible con versiones anteriores de OCPP 1.5 [37].

Por ejemplo, la Figura 2.19 describe las vistas generales de las operaciones entre el punto de recarga y el sistema central para el caso de un punto de recarga que solicita la autenticación de una tarjeta y envía el estado de la transacción del cargo.

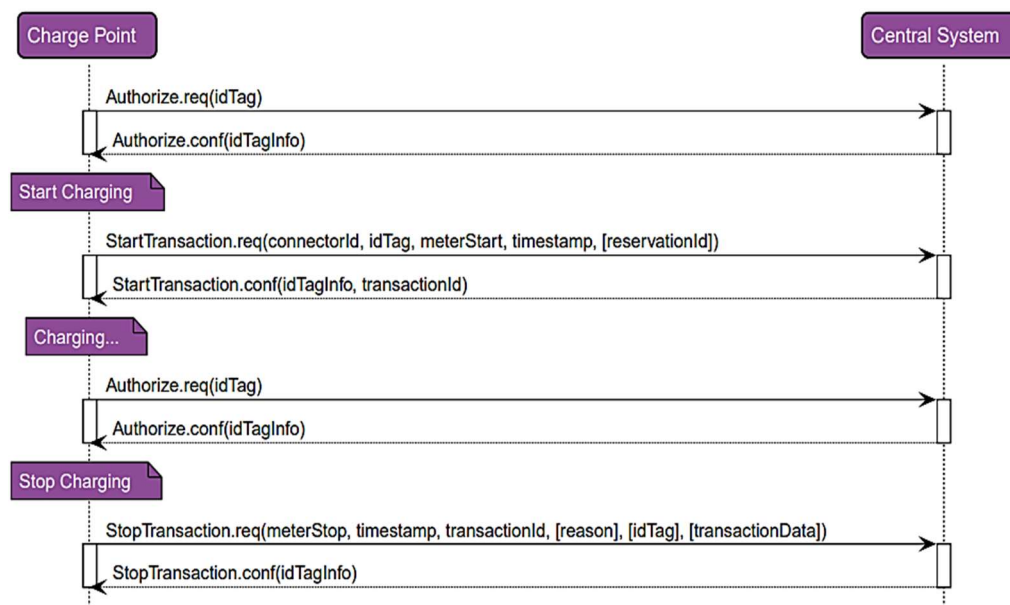


Figura 2.19 Diagrama de secuencia: ejemplo de inicio y detención de una transacción [37].



Las etiquetas de flecha en las siguientes figuras indican las PDU intercambiadas durante las invocaciones de las operaciones. Cuando un punto de carga necesita cargar un vehículo eléctrico, primero debe autenticar al usuario antes de que se pueda iniciar la carga. Si el usuario está autorizado, el punto de recarga informa al sistema central que ha comenzado con la carga. Cuando un usuario desea desconectar el vehículo eléctrico del punto de recarga, el punto de recarga debe verificar que el usuario es el que inició la carga o que el usuario está en el mismo grupo y, por lo tanto, se le permite terminar la carga. Una vez autorizado, el punto de recarga informa al sistema central que la carga se ha detenido [37].

Capítulo 3 : Simulación de la comunicación de una estación de carga con un vehículo eléctrico

En este capítulo se verá el desarrollo de una simulación para la comunicación y control entre una estación de carga bajo el modo 3 en CA de acuerdo a la norma IEC 61851-1 y un VE con la ayuda de componentes software y hardware, para ello se usa software libre como Python en un dispositivo de bajo costo como es una Raspberry Pi, para simular un VE se usa un ordenador de igual manera con software libre como Python. Ya que la estación debe interactuar con el usuario se desarrolla una interfaz gráfica con la herramienta PyQt el cual es un binding de la biblioteca gráfica Qt para Python, Qt es comúnmente utilizado para aplicaciones gráficas. Se utiliza protocolos de comunicación como, por ejemplo, Serial UART, Modbus. Estos protocolos sirven para la comunicación entre la estación y otros dispositivos electrónicos los cuales se describirán más adelante. Por último, se implementa un servidor basado en el protocolo OCPP para el control de la estación.

3.1 Modo 3 de carga

Recordando este modo 3, su funcionamiento se basa en los niveles de tensión y corriente que se aplican al vehículo eléctrico para la carga de sus baterías, según el estándar IEC 61851 [34] los niveles de tensión que trabajan son de 380 V – 400 V CA a 63 A, este modo de carga es conocido como carga semi-rápida [35]. El tipo de carga que se maneja es trifásico, la corriente máxima siempre va depender del conector que se utilice, además la infraestructura posee protecciones especiales como por ejemplo interruptores diferenciales para las corrientes residuales en caso de que haya alguna mala conexión en la infraestructura y evitar que la persona sufra una descarga eléctrica. En la Figura 3.1 se observa un esquema muy general que describe la carga bajo el modo 3, este modo empieza por la fuente de energía luego la parte de comunicación mediante la señal piloto para comunicarse la estación con el VE, el medio físico para la comunicación es un conector IEC 62196-2 mediante este conector se entregará a las baterías del VE 43 kW máximo de potencia nominal.

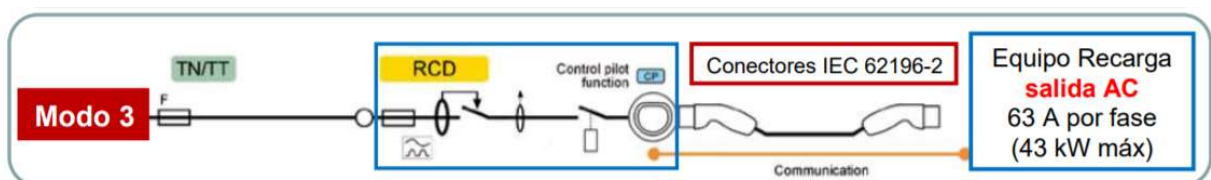


Figura 3.1 Esquema simple de carga bajo el Modo 3 [36].

El tiempo de carga de la batería en la carga de los vehículos eléctricos en la estación de carga semi-rápida es relevante para la cantidad de demanda de energía de un sistema de energía

eléctrica. Se consideran tanto el SOC como el tamaño de los paquetes de baterías; en términos de la potencia nominal del cargador de energía en vehículos eléctricos [37].

3.2 Componentes eléctricos y electrónicos para la simulación

En esta sección se verá diversos componentes tanto eléctricos como electrónicos que se utilizaron para simular una estación de carga de manera práctica y general. En primer lugar, se presenta una arquitectura general de la simulación luego se describirá de manera general los componentes utilizados y cómo encaja su aplicación en la simulación.

3.2.1 Arquitectura de la simulación

En la Figura 3.2 se presenta la arquitectura para el desarrollo de la simulación de una estación de carga, la simulación contempla varios elementos los cuales se verá una breve descripción más adelante. En primer lugar, el sistema cuenta con un dispositivo raspberry pi que realiza el control sobre todo los actuadores, además va tomar lectura de las variables del medidor de energía como son voltajes, corrientes, potencia, energía. Luego para iniciar la simulación de la comunicación se envía señales de control por medio de comunicación serial al ordenador portátil que simulará ser el auto con el cual la estación se comunicará. Para el control de usuarios se utiliza un lector RFID con el cual se conectará al dispositivo raspberry pi mediante la interfaz SPI. Mediante los pines GPIO de la raspberry pi se controla un relé para permitir abrir o cerrar el interruptor de éste y activar el contactor para que la corriente circule y entregar energía en este caso a resistencias de níquelina a 6 kW y 220 VCA. Como protección se observa lo que se conoce comúnmente como Breakers para las fases y el neutro además es importante contar con una protección a tierra mediante aterramiento. Como se mencionó anteriormente para medir los niveles de corriente, voltaje, energía se utiliza un medidor de energía de la marca SELEC modelo MFM376, este medidor tiene la ventaja de comunicarse con un microcontrolador por medio del protocolo MODBUS y la interfaz RS485. Con este medidor se puede controlar los niveles de energía que se consume por cada kWh. Es importante mencionar que la energía que se mide es la aparente y su unidad es kVAh ya que ella contiene la energía reactiva kVARh y la activa kWh. Por tanto, la energía aparente incluye las pérdidas que se producen durante una carga. La energía activa kWh es el resultado de transformar la energía eléctrica en lo que se conoce como trabajo mecánico y/o calor, se podría decir que esta es la energía útil. La energía reactiva en cambio está presente en aparatos que para funcionar necesitan que se formen campos magnéticos, por ejemplo, las bobinas de los motores. La energía reactiva representa un consumo no aprovechable de energía, convirtiéndola en una energía que no es útil. Esta energía puede provocar sobrecarga en las líneas, transformadores y generadores. La energía aparente es la energía total de una instalación eléctrica, es decir la suma de las dos energías anteriores.

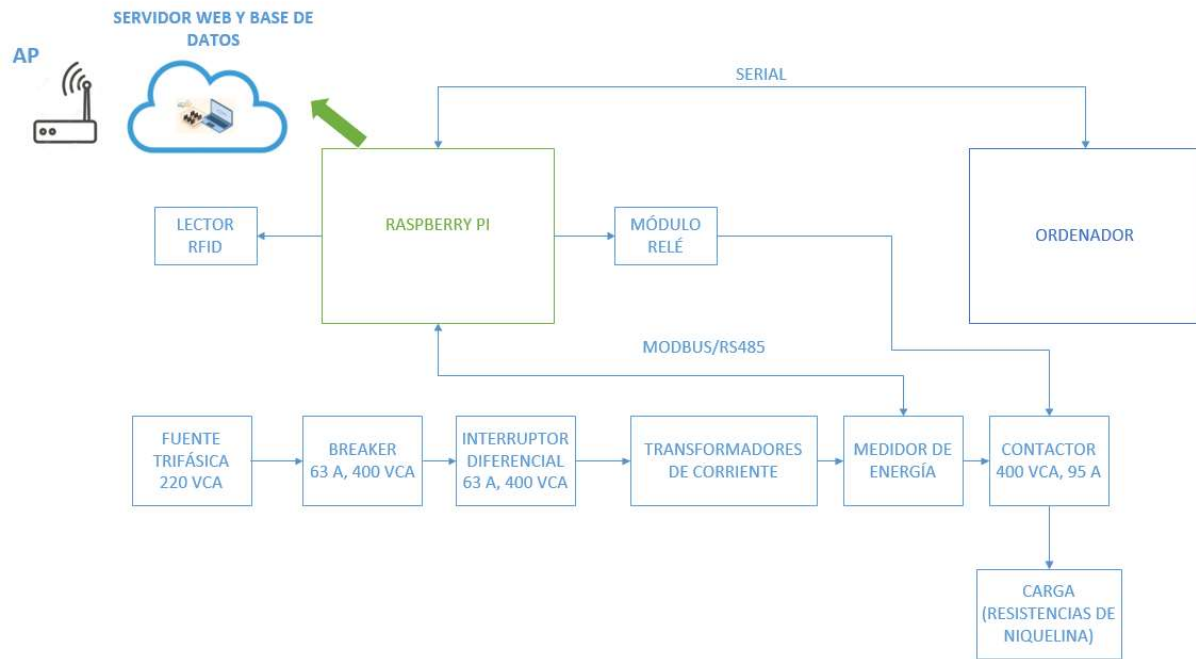


Figura 3.2 Diagrama de bloques de la simulación.

3.2.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi es un mini ordenador de pequeñas dimensiones como se observa en la Figura 3.3 y precio destinado principalmente al desarrollo de pequeños prototipos y a estimular la enseñanza de las ciencias de la computación en los centros educativos. Desarrollado en hardware libre cuenta con sistemas operativos GNU/Linux como Raspbian, aunque se puede encontrar otros sistemas operativos optimizados para el hardware de la Raspberry Pi [38].

Raspberry Pi utiliza una arquitectura para el procesador ARM distinta a la que se está acostumbrado a utilizar en los ordenadores de sobremesa o portátiles. Esta arquitectura es de tipo RISC (Reduced Instruction Set Computer), es decir, utiliza un sistema de instrucciones realmente simple lo que le permite ejecutar tareas con un mínimo consumo de energía [38].

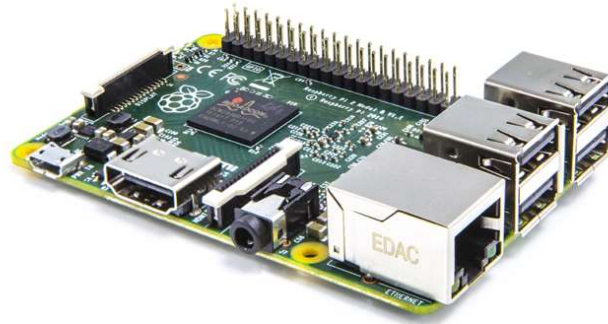


Figura 3.3 Raspberry Pi 3 Model B [38]

Observando en la Figura 3.4 se presenta más detalladamente los pines de salida que posee el dispositivo Raspberry Pi, para conectar el lector RFID se hace uso de los pines GPIO. Específicamente los pines SDA (Pin 24), SCK (Pin 23), MOSI (Pin 19), MISO (Pin 21), GND (Pin 6), RST (Pin 22), 3.3 V (Pin 1). Para enviar la señal que abra el relé se utiliza el pin 12. Para la comunicación serial se utiliza los pines 8, 10 y 20. Los puertos USB de la Raspberry Pi se utilizan para la comunicación MODBUS con el medidor de energía.

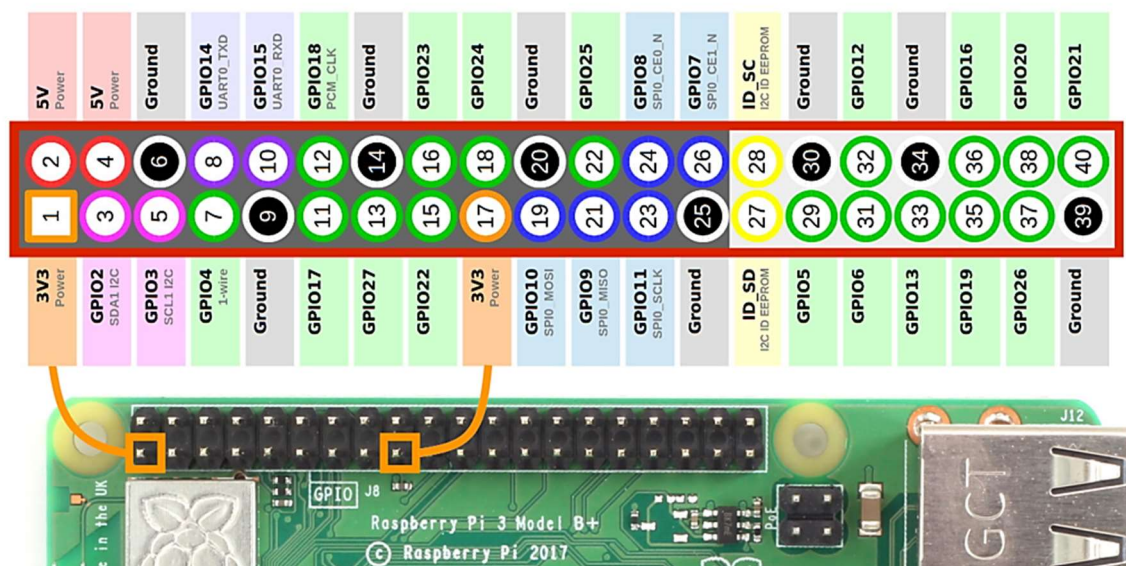


Figura 3.4 Diagrama de pines de salida [39]

3.2.3 Módulo Relé

En la Figura 3.5 se observa un dispositivo relé el cual va ayudar activar el contactor automático de la Figura 16 y dar paso a la circulación de corriente hacia las cargas. La alimentación del módulo relé se puede utilizar de los pines GPIO de la Raspberry y mediante el pin 12 de la Raspberry Pi se envía la señal hacia el pin IN1 del módulo relé.

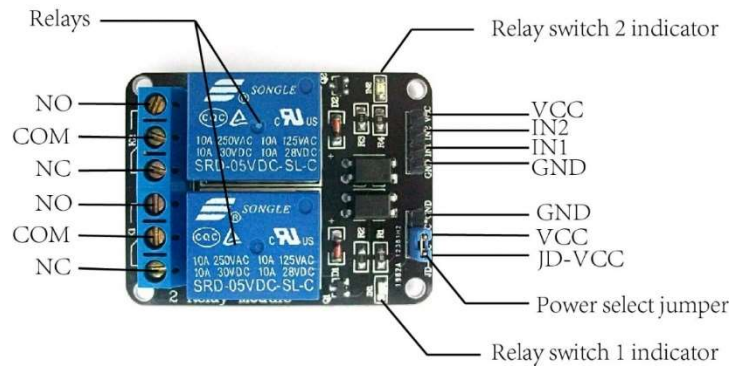


Figura 3.5 Dispositivo Relé de 2 Switch [40].

3.2.4 Módulo RFID RC522

Este módulo utiliza un sistema de modulación y demodulación de 13.56MHz, frecuencia que en la actualidad utiliza la tecnología RFID. El módulo se comunica por SPI, por lo que se puede implementar con cualquier microcontrolador con interfaz SPI, como un Arduino [41]. Para conectar el lector RFID se hace uso de los pines GPIO los cuales son específicamente los pines SDA (Pin 24), SCK (Pin 23), MOSI (Pin 19), MISO (Pin 21), GND (Pin 6), RST (Pin 22), 3.3 V (Pin 1), véase la Figura 3.6.



Figura 3.6 Módulo RFID RC522 [41].

3.2.5 Convertidor USB a TTL

El módulo conversor PL2303 como se observa en la Figura 3.7 convierte un puerto USB en un puerto serial UART, con niveles de voltaje TTL compatibles con la mayoría de tarjetas de microcontroladores como Arduino/PIC/Raspberry Pi. Posee leds indicadores de transmisión de datos, salidas reguladas de voltaje de 5V y 3.3V, usa el chip PL2303HXA de Prolific [42]. Para realizar la emulación de la estación con el vehículo que en este caso es una computadora se desarrolla una comunicación entre la estación que es el dispositivo Raspberry Pi y una interfaz realizada en PyQt en una laptop, para lograr establecer una comunicación se utiliza un conversor

USB a TTL ya que en este caso la comunicación entre los dispositivos antes mencionados será serial.

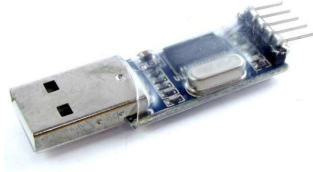


Figura 3.7 Conversor USB a TTL [42].

3.2.6 Convertidor RS485 a USB

El conversor USB a RS485 como se observa en la Figura 3.8 integra un conversor USB a serial TTL (CH340) y un chip serial a RS485 (MAX485). El conversor USB a RS485 permite establecer comunicación entre una PC (USB) y un microcontrolador/cámara ptz/variador de frecuencia utilizando la interface RS485. La interface RS485 es un estándar industrial ampliamente utilizado por su robustez, fácil implementación y buenas prestaciones. El estándar RS485 también llamado EIA-485 es muy utilizado por equipos industriales de instrumentación y control: Variadores de velocidad, PLC, Pirómetros. El estándar RS485 está definido como un sistema de comunicación en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a velocidades medianas sobre largas distancias (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que al emplear voltajes diferenciales reduce los ruidos eléctricos que aparecen en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión (cableado) es el cable par trenzado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo bus, con una longitud máxima de 1200 metros operando entre 300 y 19200 bit/s bajo comunicación half-duplex (semiduplex) [43]. Con este conversor mencionado se establecerá una comunicación mediante el Protocolo MODBUS y la Raspberry Pi para acceder a los registros del medidor de energía y obtener diferentes valores que servirán para visualizar en una pantalla integrada a la Raspberry Pi, estos valores corresponden a niveles de voltaje, corriente que se está trabajando y energía aparente.



Figura 3.8 Conversor USB a RS485 [43].

3.2.7 Contactor EBS1C

El contactor de CA EBS1C como se ve en la Figura 3.9 es usado en los circuitos de CA a 50 Hz o 60 Hz, voltaje de aislamiento nominal 660 V, voltaje de operación nominal de hasta 690 V, voltaje de operación nominal de 380 V / 400 V en CA trifásica, corriente de operación nominal de hasta 95A lo suficiente para arrancar y controlar un motor de CA. El contactor está fabricado según la norma IEC60947-4 [44]. Este contactor automático posee una bobina interna la cual se la activa aplicando una diferencia de potencial de 220 V, al activar esta bobina cerrará unos contactos internos haciendo que circule corriente por el contactor. Este contactor es similar a un relé de arduino, pero con la diferencia de que trabaja con mayores tensiones y corriente. Para seguridad este contactor posee unos indicadores de seguridad para indicar si se cerró el contacto, para lo cual mediante los pines GPIO de la Raspberry Pi en específico los pines input se podrá leer estos valores de NC y NO, normalmente cerrado y normalmente abierto respectivamente.



Figura 3.9 Contactor EBS1C [44].

3.2.8 Interruptor Diferencial

Un elemento muy importante como medida de seguridad para la estación y para las personas es un interruptor diferencial como se observa en la Figura 3.10, trabaja en sistemas de corriente alterna, este elemento funciona como un breaker que se abre inmediatamente si detecta un “fuga” de corriente, esto quiere decir que si se detecta que la corriente que sale de la fuente de energía y la que regresa no es la misma con la que se envió lo que va hacer este diferencial es abrir inmediatamente el circuito cortando el flujo de corriente. Este elemento de protección es imprescindible en estaciones de carga porque evita que malas conexiones dentro de la estación pueda dañar o incluso causar la muerte a personas que operen estos dispositivos. Como especificaciones de este dispositivo tenemos:

- Corriente Nominal: 16 A, 25 A, 32 A, 40 A, 63 A, 80 A, 100 A
- Voltaje Nominal: 400 VCA
- Sensibilidad de corriente: 0.03 A, 0.1 A, 0.3 A
- Vida mecánica: 10000



Figura 3.10 Interruptor diferencial de 63 A marca CAMSCO [45].

3.2.9 Interruptor (Breaker) Manual

Otro elemento importante de seguridad es contar con lo que se conoce comúnmente con un breaker, véase la Figura 3.11, para desactivar la alimentación por completo que lleva al sistema y proteger los equipos como se observa en la Figura 24. Este dispositivo cumple con la norma de seguridad IEC 60947-2 que regula los interruptores para aplicaciones industriales. Protegen la distribución de energía eléctrica de hasta 1000 VCA o 1500 VDC. Con todo el espectro de gama de intensidades nominales comprendidas entre 0,5 A a 6300 A. Los servicios públicos y las instalaciones industriales los utilizan, suelen ser productos del tipo: [46]

- Interruptores de bastidor abierto (ACB)
- Interruptores de caja moldeada (MCCB)

- Interruptores de carril DIN (MCB).



Figura 3.11 Breaker Marca EBASEE [47].

3.2.10 Transformadores de Corriente

Para la mayoría de transformadores de corriente, las corrientes primarias y secundarias se expresan con una relación, como por ejemplo 100/5, que indica que, si 100 amperios fluyen por el primario del transformador, existirán 5 Amperios fluyendo por el secundario [48]. Para censar la corriente es necesario el uso de un transformador de corriente, el sensor que se va a usar es un CAMSCO del tipo MFO como se observa en la Figura 3.12, con una relación de transformación de 100 / 5, es decir van a existir en el secundario 5 A si por el primario circulan 100 A.



Figura 3.12 Transformador de corriente CAMSCO MFO [49].

3.2.11 Medidor de Energía

Para obtener los valores de voltaje, corriente, energía, etc., es necesario contar con un medidor de energía que pueda leer los valores analógicos de voltaje y corriente y que los transforme en valores digitales, de tal manera que estos puedan ser observados en la pantalla led. Por otro lado, en caso de que el medidor sea capaz de usar el protocolo de comunicación MODBUS, los valores digitales se pueden enviar a un dispositivo microcontrolador y este a su vez puede proyectarlos en una pantalla para que sean apreciados de una manera más elegante.

El medidor que se utilizó fue el modelo MFM376 marca SELEC como se observa en la Figura 3.13, este medidor cuenta con varias características entre ellas la comunicación MODBUS para enviar diferentes los valores a la Raspberry Pi.



Figura 3.13 Medidor de Energía SELEC [50].

Como se observa en la Figura 3.14 se tiene las conexiones que posee el medidor, se puede ver que maneja cargas trifásicas, la conexión MODBUS se realiza en PULSE O/P, además se observa que para medir la corriente es necesario de un sensor de corriente o transformador de corriente visto anteriormente, este transformador de corriente va conectado en el terminal S1 y S2 para una corriente I1 de igual manera para medir una corriente I2 las conexiones irían en S1 y S2 de lado derecho de I1 y así para la corriente I3. Si se requiere medir el voltaje en cualquier fase o línea la conexión se hace en V1 para la línea 1 y V2 para la línea 2 y así para V3, esto con respecto al neutro N. La alimentación de este medidor va desde los 110 V hasta los 220 V en CA, los valores que puede medir este medidor son voltaje y corriente RMS, factor de potencia, frecuencia, potencia activa, reactiva y aparente, de igual forma energía activa, reactiva y aparente.

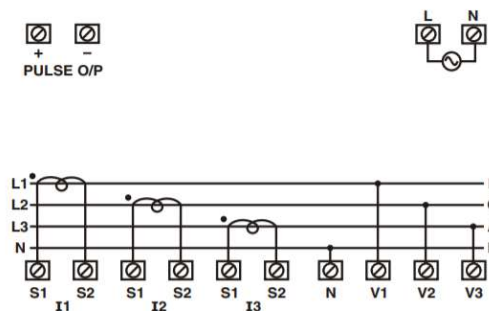


Figura 3.14 Conexiones del Medidor de Energía [50].

3.3 Software para la simulación

3.3.1 Python

Python es un lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos y de alto nivel con semántica dinámica. Sus estructuras de datos integradas de alto nivel, combinadas con escritura dinámica y enlace dinámico, lo hacen muy llamativo para el desarrollo rápido de aplicaciones, así como para su uso como lenguaje de scripts o pegamento para conectar componentes

existentes. La sintaxis simple y fácil de aprender de Python enfatiza la legibilidad y por lo tanto reduce el costo de mantenimiento del programa. El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están disponibles en formato fuente o binario [51]. La versión de Python que se está utilizando es la 3.2.8. La ventaja de usar Python por ser de código abierto, también al existir diversas bibliotecas y aplicaciones han hecho que la elección de este lenguaje de programación sea la adecuada.

3.3.2 Qt Designer

Qt Designer es una herramienta para crear rápidamente interfaces gráficas de usuario con widgets desde el Framework Qt GUI. Además, brinda una interfaz simple de arrastrar y soltar para diseñar componentes como botones, campos de texto, cuadros combinados y más. Qt Designer produce archivos con el formato **.ui**. Este es un formato especial basado en XML que almacena sus widgets como un árbol. Se puede cargar estos archivos en tiempo de ejecución o traducirlos a un lenguaje de programación como C++ o Python [52]. Para el diseño de la interfaz gráfica se utilizó esta herramienta junto con Python, la versión de Qt Designer es la 5, la forma más fácil de combinar Qt Designer y Python es mediante el enlace PyQt.

3.3.3 MySQL

MySQL Database Service es un servicio de base de datos totalmente administrado que permite a las organizaciones implementar aplicaciones nativas de la nube utilizando la base de datos de código abierto siendo una de las más populares del mundo. Está 100% desarrollado, administrado y respaldado por el equipo de MySQL [53]. Como parte del control de usuarios y mediante el uso de tarjetas RFID se hace uso de una base de datos a este proyecto con el cual se busca llevar un registro de todos los usuarios asociados a los id de las tarjetas RFID y a la estación de carga. Según lo investigado MYSQL soporta más de 50 millones de registros, 6000 tablas y 32 índices por tabla.

3.4 Protocolo Modbus

Modbus es un protocolo de comunicaciones, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Debido a que este protocolo fue público, de fácil uso y que requiere poco desarrollo (maneja bloques de datos sin suponer restricciones) se convirtió en un protocolo de comunicaciones estándar en la industria. Es el protocolo de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales [54].

El protocolo de comunicación Modbus se basa en la arquitectura maestro-esclavo como se mencionó. Utiliza interfaces RS-485, RS-422, RS-232, así como redes Ethernet TCP / IP (protocolo Modbus TCP) para la transferencia de datos.

La trama Modbus RTU como se ve en la Figura 3.15 consta de la dirección del dispositivo esclavo conocido como SlaveID, el código de función, los datos especiales según el código de función y el CRC de la suma de comprobación.

Slave Address	Function Code	Data	CRC
1 byte	1 byte	0 up to 252 byte(s)	2 bytes CRC Low, CRC Hi

Figura 3.15 Trama Modbus RTU [55].

Si descarta la dirección SlaveID y la suma de comprobación CRC, se obtiene la PDU, unidad de datos de protocolo, como se observa en la Figura 3.16.

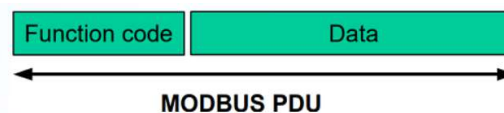


Figura 3.16 Modbus PDU [55].

SlaveID es la dirección del dispositivo, puede tomar un valor de 0 a 247, las direcciones de 248 a 255 están reservadas. Los datos del dispositivo con comunicación Modbus se almacenan en 4 tablas de los cuales dos tablas son solo de lectura y dos son de lectura y escritura como se ve en la Tabla 2.18.

Tabla 2.18 Registros y Direcciones MODBUS [55]

Número de Registro	Dirección de Registro HEX	Tipo	Nombre
1-9999	0000 hasta 270E	Lectura-Escritura	Bobinas de Salida Discreta
10001-19999	0000 hasta 270E	Lectura	Contactos de Entrada Discreta
30001-39999	0000 hasta 270E	Lectura	Registro de Entrada Analógica
40001-49999	0000 hasta 270E	Lectura-Escritura	Registros de retención de salida analógica

El mensaje Modbus utiliza la dirección de registro. Por ejemplo, el primer registro de retención tiene el número 40001, pero su dirección es 0000. Cada tabla tiene su propio desplazamiento, respectivamente: 1, 10001, 30001 y 40001. Además, cada tabla tiene 9999 valores. Cada bobina

o contacto es de 1 bit y se le asigna una dirección de datos entre 0000 y 270E. Cada registro es 1 palabra de 16 bits es decir 2 bytes y también tiene una dirección de datos entre 0000 y 270E.

El segundo byte enviado por el maestro es el código de función. Este número le dice al esclavo a qué tabla acceder y si leer o escribir en la tabla. En la Tabla 2.19 se observa el código de función y que acción corresponde con cada código.

Tabla 2.19 Código de función [55]

CÓDIGO DE FUNCIÓN	ACCIÓN	NOMBRE DE LA TABLA
01 (01 Hexadecimal)	Lectura	Bobinas de salida discreta
05 (05 Hexadecimal)	Escritura	Bobina de salida discreta
15 (0F Hexadecimal)	Escribir varios	Bobinas de salida discretas
02 (02 Hexadecimal)	Lectura	Contactos de entrada discreta
04 (04 Hexadecimal)	Lectura	Registros de entrada analógica
03 (03 Hexadecimal)	Lectura	Registros de retención de salida analógica
06 (06 Hexadecimal)	Escritura	Registro de retención de salida analógica
16 (10 Hexadecimal)	Escribir varios	Registro de retención de salida analógica

La especificación Modbus no define exactamente cómo se almacenan los datos en los registros. Por lo tanto, algunos fabricantes implementaron Modbus en sus equipos para almacenar y transmitir el byte más alto primero seguido por el byte más bajo. De manera alternativa, otros almacenan y transmiten el byte inferior primero.

Un mapa Modbus es simplemente una lista para un dispositivo esclavo que define:

- ¿Qué datos son? (por ejemplo, lecturas de presión o temperatura).
- ¿Dónde se almacenan los datos? (qué tablas y direcciones de datos).
- ¿Cómo se almacenan los datos? (tipos de datos, byte y ordenamiento de palabras).

Algunos dispositivos se construyen con un mapa fijo definido por el fabricante. Mientras que otros dispositivos permiten al operador configurar o programar un mapa personalizado para satisfacer sus necesidades.

En la Tabla 2.20 se observa un ejemplo de una solicitud Modbus RTU para obtener el valor de los registros de retención #40108 a 40110 con la dirección del dispositivo esclavo 17.

11 03 006B 0003 7687

Tabla 2.20 Ejemplo de solicitud Modbus [55]

11	LA DIRECCIÓN DEL DISPOSITIVO SLAVEID(17 = 11 HEX)
03	CÓDIGO DE FUNCIÓN
006B	DIRECCIÓN DEL PRIMER REGISTRO(40108-40001=107=6B HEX)
0003	EL NÚMERO DE REGISTROS REQUERIDOS
7687	SUMA DE COMPROBACIÓN CRC

3.5 Comunicación Serial

UART son las siglas de Universal Asynchronous Receiver / Transmitter. No es un protocolo de comunicación como SPI e I2C, sino un circuito físico en un microcontrolador o un IC independiente. El propósito de un UART es transmitir y recibir datos en serie. En la comunicación UART, dos UART se comunican directamente entre sí. El UART transmisor convierte los datos en paralelo de un dispositivo de control como una CPU en forma serial, los transmite en serie al UART receptor, que luego convierte los datos en serie en datos paralelos para el dispositivo receptor. Solo se necesitan dos cables para transmitir datos entre dos UART como se observa en la Figura 3.17. Los datos fluyen desde el pin Tx del UART transmisor al pin Rx del UART receptor.

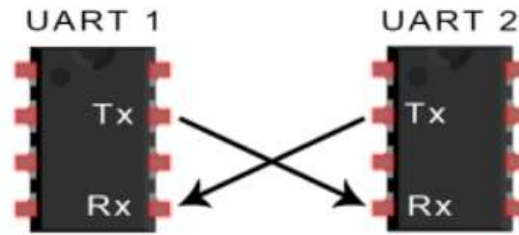


Figura 3.17 Comunicación serial entre dos dispositivos UART [56].

Los UART transmiten datos de forma asincrónica, lo que significa que no hay señal de reloj para sincronizar la salida de bits del UART transmisor con el muestreo de bits del UART receptor. En lugar de una señal de reloj, el UART transmisor agrega bits de inicio y parada al paquete de datos que se transfiere. Estos bits definen el comienzo y el final del paquete de datos para que el UART receptor sepa cuándo comenzar a leer los bits. Cuando el UART receptor detecta un bit de inicio, comienza a leer los bits entrantes a una frecuencia específica conocida como velocidad en baudios. La velocidad en baudios es una medida de la velocidad de transferencia de datos, expresada en bits por segundo (bps). Ambos UART deben funcionar aproximadamente a la misma velocidad en baudios. La velocidad en baudios entre los UART transmisores y receptores solo puede diferir en aproximadamente un 10% antes de que la sincronización de los bits se aleje demasiado.

Ambos UART deben configurarse para transmitir y recibir la misma estructura de paquetes de datos. En este caso para la comunicación entre la Raspberry Pi y un ordenador es necesario el uso de la interfaz USB del computador y los pines del puerto serie de la Raspberry Pi que son GPIO14 (Tx) y GPIO15 (Rx). Luego para configurar la comunicación serial entre la Raspberry Pi y un ordenador con sistema operativo Ubuntu 16 y Python la programación debe ser la siguiente.

El UART que va a transmitir datos recibe los datos de un bus de datos. El bus de datos se usa para enviar datos a la UART por otro dispositivo como una CPU, memoria o microcontrolador. Los datos se transfieren desde el bus de datos al UART transmisor en forma paralela. Una vez que el UART transmisor obtiene los datos en paralelo del bus de datos, agrega un bit de inicio, un bit de paridad y un bit de parada, creando el paquete de datos. A continuación, el paquete de datos se envía en serie, bit a bit en el pin Tx. El UART receptor lee el paquete de datos bit a bit en su pin Rx. Luego, el UART receptor convierte los datos nuevamente en forma paralela y elimina el bit de inicio, el bit de paridad y los bits de parada. Finalmente, el UART receptor transfiere el paquete de datos en paralelo al bus de datos en el extremo receptor. Los datos transmitidos por UART se organizan en paquetes. En la Figura 3.18 se observa que cada paquete contiene 1 bit de inicio, de 5 a 9 bits de datos (según el UART), un bit de paridad opcional y 1 o 2 bits de parada.

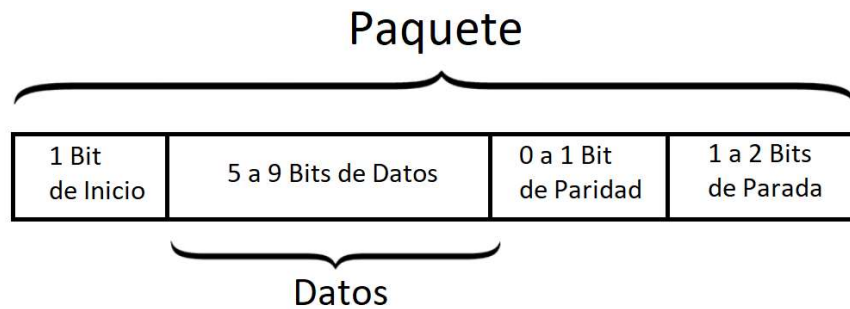


Figura 3.18 Estructura de un paquete para comunicación UART

3.5.1 Bit de Inicio

La línea de transmisión de datos UART normalmente se mantiene a un nivel de voltaje alto cuando no está transmitiendo datos. Para iniciar la transferencia de datos, el UART transmisor tira de la línea de transmisión de mayor a menor durante un ciclo de reloj. Cuando el UART receptor detecta la transición de voltaje alto a bajo, comienza a leer los bits en la trama de datos a la frecuencia de la velocidad en baudios.

3.5.2 Datos

El marco de datos contiene los datos reales que se están transfiriendo. Puede tener entre 5 y 8 bits de longitud si se utiliza un bit de paridad. Si no se utiliza ningún bit de paridad, la trama de datos puede tener una longitud de 9 bits. En la mayoría de los casos, los datos se envían con el bit menos significativo primero.

3.5.3 Paridad

El bit de paridad es una manera en la que el UART receptor sepa si algún dato ha cambiado durante la transmisión. Los bits se pueden cambiar por radiación electromagnética, velocidades de transmisión no coincidentes o transferencias de datos a larga distancia. Después de que el UART receptor lee la trama de datos, cuenta el número de bits con un valor de 1 y verifica si el total es un número par o impar. Si el bit de paridad es un 0 (paridad par), los bits 1 en la trama de datos deben sumar un número par. Si el bit de paridad es un 1 (paridad impar), los bits 1 en la trama de datos deben sumar un número impar. Cuando el bit de paridad coincide con los datos, la UART sabe que la transmisión no tuvo errores. Pero si el bit de paridad es un 0 y el total es impar; o el bit de paridad es un 1 y el total es par, la UART sabe que los bits en la trama de datos han cambiado.

3.5.3 Bits de parada

Para señalar el final del paquete de datos, el UART emisor impulsa la línea de transmisión de datos de un voltaje bajo a un voltaje alto durante al menos dos duraciones de bits.

3.5.3 Ejemplo de Transmisión por UART

1. El UART transmisor recibe datos en paralelo desde el bus de datos, véase la Figura 3.19:

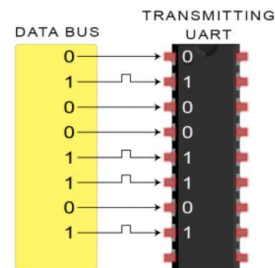


Figura 3.19 Transmisión de datos por UART [56].

2. El UART transmisor agrega el bit de inicio, el bit de paridad y el bit de parada a la trama de datos como se observa en la Figura 3.20:

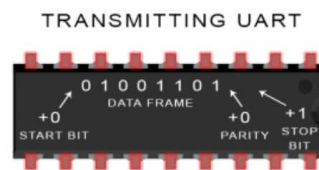


Figura 3.20 Adición de bits de inicio, paridad y parada [56].

3. El paquete completo se envía en serie desde el UART transmisor al UART receptor como se observa en la Figura 3.21. El UART receptor muestrea la línea de datos a la velocidad en baudios pre configurada:

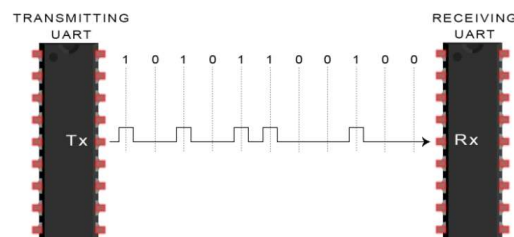


Figura 3.21 Transmisión de datos por UART [56].

4. El UART receptor descarta el bit de inicio, el bit de paridad y el bit de parada de la trama de datos, como se ve en la Figura 3.22:

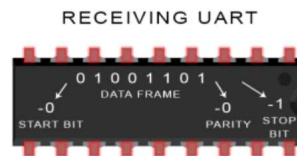


Figura 3.22 Recepción de la trama [56].

5. El UART receptor vuelve a convertir los datos serie en paralelo y los transfiere al bus de datos en el extremo receptor como se ve en la Figura 3.23:

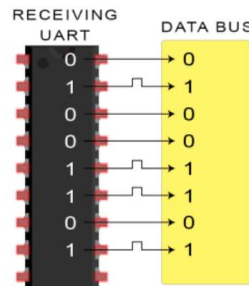


Figura 3.23 Recepción de los Datos [56].

3.6 Descripción del diseño del control de la simulación

En esta sección se verá el proceso de control para la simular la comunicación de una estación de carga con un VE mediante el uso de componentes de bajo costo como es una Raspberry Pi y un ordenador con sistema operativo Linux. El dispositivo electrónico Raspberry Pi simulará la parte de la estación de carga o EVSE por sus siglas en inglés, mientras que el ordenador simulará ser el VE. Para establecer comunicación entre el ordenador y el dispositivo Raspberry se hace uso de la comunicación serial. Mediante el uso de un adaptador que permite comunicar la UART de la Raspberry Pi con un puerto USB de un ordenador. UART se trata de la interfaz de comunicación serie dominante en los microcontroladores de gama baja y en los ordenadores antiguos. El puerto serie ocupa los pines GPIO14 (TxD) y GPIO15 (RxD). Por defecto Raspbian utiliza estos pines para una consola serie. La dirección de la interfaz UART es la ttyS0, por tanto, esta dirección se debe establecer en el código de Python para poder transmitir y recibir información.

3.6.1 Configuraciones iniciales en la Raspberry Pi

En esta sección se describe el proceso para configurar el modo serial en la raspberry pi:

Lo primero que se debe hacer es encender la Raspberry Pi y ejecutar en el terminal los comandos para verificar los puertos disponibles:

dmesg / grep tty

Con este comando se puede saber los puertos seriales disponibles en la Raspberry como se ve en la Figura 3.24:

```
pi@raspberrypi:~$ dmesg | grep tty
[ 0.000000] Kernel command line: 8250.nr_ua... bcm2708_fb.fbwidth=800 bcm2708_fb.fbheight=480 bcm2708_fb.fbswap=1 vc.mem.mem_base=0x3ec00000 vc.mem.mem_size=0x40000000 dwc_otg.lpm_enable=0 console=tty1 root=PARTUUID=60ea9d68-02 rootfstype=ext4 elevator=deadline fsck.repair=yes rootwait quiet splash plymouth.ignore-serial-consoles
[ 0.000284] console [tty1] enabled
[ 0.668932] 3f201000.serial: ttyAMA0 at MMIO 0x3f201000 (irq = 87, base_baud = 0) is a PL011 rev2
[ 0.670402] 3f215040.serial: ttyS0 at MMIO 0x0 (irq = 166, base_baud = 312500) is a 16550
pi@raspberrypi:~$
```

Figura 3.24 Puertos disponibles en el dispositivo Raspberry

Ya que se ha verificado los puertos ahora se configura la Raspberry Pi para que Raspbian no use la UART para login Shell, para ello en la consola de comandos se escribe el siguiente comando como se ve en la Figura 3.25:

sudo raspi-config

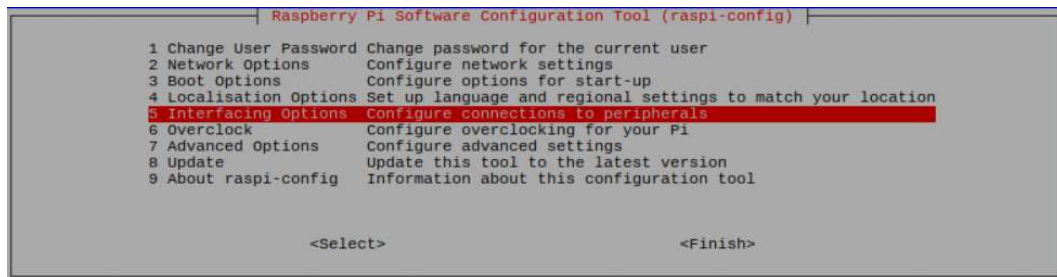


Figura 3.25 Herramientas de configuración de la Raspberry Pi

Con este comando se abre el software de configuración general del dispositivo, una vez ahí se va a la opción 5 de opciones de interfaz, luego a la opción P6 Serial, posteriormente se desactiva el login Shell, pero se activa o habilita el Hardware de la UART. Las configuraciones anteriores mencionadas se pueden observar desde la Figura 3.26 a la 3.28.



Figura 3.26 Configuración Serial

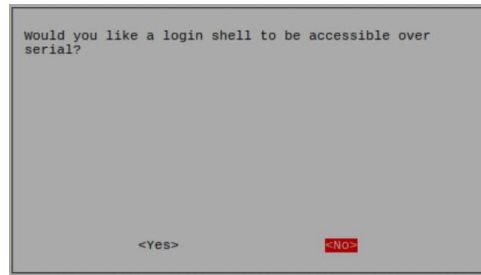


Figura 3.27 Inhabilitación del login shell.

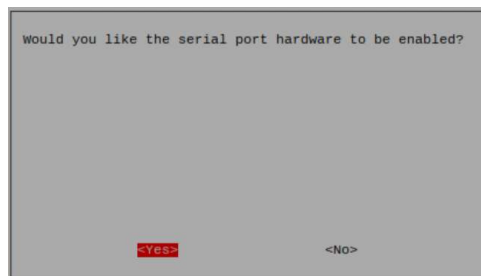


Figura 3.28 Activación del puerto serial

Una vez que se han realizado las modificaciones pertinentes, se procede a salir del **raspi-config** y se reinicia el dispositivo para confirmar que se hizo correctamente los cambios.

Ahora nuevamente debemos abrir la consola de Linux en la Raspberry Pi y configurar el archivo de inicio para ajustar el reloj de la UART para ello editaremos el archivo digitando:

```
sudo nano /boot/config.txt
```

En el archivo se debe adicionar las líneas al final del texto como se observa en la Figura 3.29:

```
core_freq=250
```

```
enable_uart=1
```

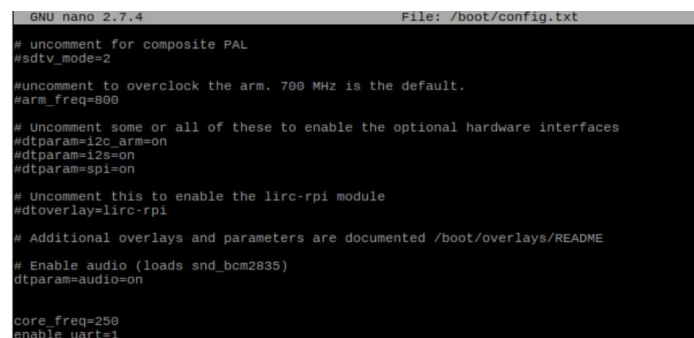


Figura 3.29 Archivo de configuración del reloj de la UART

Ya realizado estos cambios y mediante el software libre Python se puede enviar datos con la siguiente línea:

```
puerto = serial.Serial("/dev/ttyS0", baudrate=9600, timeout=1)
```

Como se observa en la línea de código anterior se llama al método Serial con la librería serial, a continuación, se definen los parámetros de comunicación serial como por ejemplo “/dev/ttyS0” que es para abrir el puerto serial ttyS0, “baudrate=9600” la velocidad de transmisión de datos en baudios, “timeout” para establecer un valor de tiempo de espera de lectura, “bytesize” número de bits de datos, en este caso 8 bits de datos, “parity” habilita la comprobación de paridad que en este caso se estableció como none, “stopbits” número de bits de parada, finalmente para poder ejecutarlo se debe importar la librería correspondiente:

```
import serial
```

3.6.2 Circuito de control piloto de acuerdo a la norma IEC 61851-1

Como se observa en la Figura 3.30 se tiene un esquema del circuito de control piloto común dados por los estándares SAE J1772 o IEC 61851-1 que es necesario para la comunicación entre estación y VE, este esquema es un circuito para el control de la señal piloto, la conexión para la comunicación estación-VE se realiza con la señal control piloto como se ve en la Figura 3.30, este circuito trabaja bajo el modo 3 del estándar europeo IEC 61851-1 el cual es el modo más usado porque es el más seguro mencionado por el estándar de la IEC. El circuito que forma parte de la estación se denomina comúnmente como el controlador, la comunicación verifica si el vehículo está correctamente conectado, además de establecer la máxima corriente que puede dar, verificar si el sistema de tierra está correctamente conectado y por supuesto empezar la carga del VE a través de los estados.

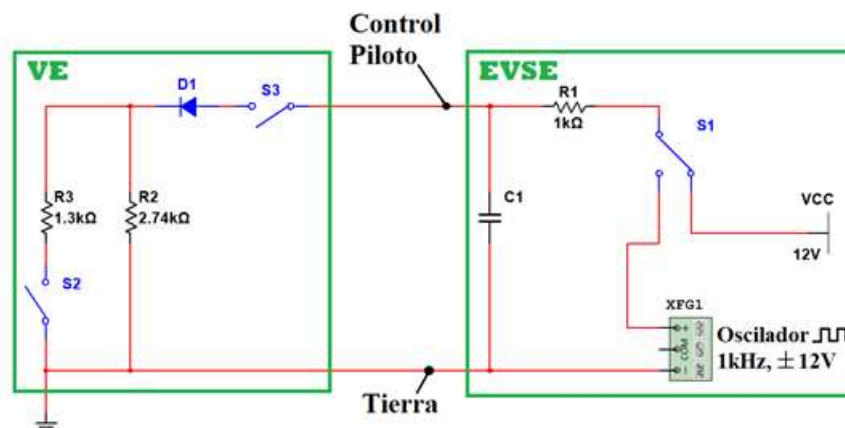


Figura 3.30 Circuito control piloto

La estación o EVSE envía información a través del Duty Cycle o Ciclo de Trabajo de la señal de comunicación al VE sobre la corriente máxima admitida por el cable utilizado. De manera recíproca, el sistema de administración de la batería o BMS del VE interpreta la señal de piloto de control para limitar la tasa de carga.

Los estados de carga de acuerdo al circuito de control piloto son como observa en la Tabla 2.21:

Tabla 2.21 Estados de comunicación del VE con la EVSE

ESTADO S	Interruptores			Descripción del estado
	S1	S2	S3	
A	Abierto	Abierto	Abierto	Vehículo desconectado y el voltaje medido en el control piloto es +12 VDC
B	Abierto	Abierto	Cerrado	EVSE no está lista, en este caso el voltaje medido es de +9 VDC
C	Cerrado	Abierto	Cerrado	EVSE está listo y el control piloto genera una señal PWM +9 V/-12 V
D	Cerrado	Cerrado	Cerrado	El vehículo está listo y comienza el proceso de carga. En este caso el valor positivo de la señal PWM depende del resistor R3. Si la ventilación en el área de carga no es requerida la resistencia R3 toma el valor de $R3=1.3\text{ k}\Omega$ y el valor positivo de la señal PWM es +6 V. En caso contrario si la ventilación es requerida la resistencia R3 toma el valor de $270\text{ }\Omega$ y el valor positivo de la señal PWM es de 3 V.
E	Abierto	Cerrado	Cerrado	El vehículo no está listo y el proceso de carga es abortado
F	Abierto	Abierto	Cerrado	La EVSE no está lista
G	Abierto	Abierto	Abierto	El vehículo está desconectado

A continuación, se observa en la Figura 3.31 las señales de comunicación entre la estación de carga y el vehículo eléctrico de acuerdo al circuito de control piloto y de acuerdo a la Tabla 2.22 donde se explica los estados de comunicación del VE con la estación.

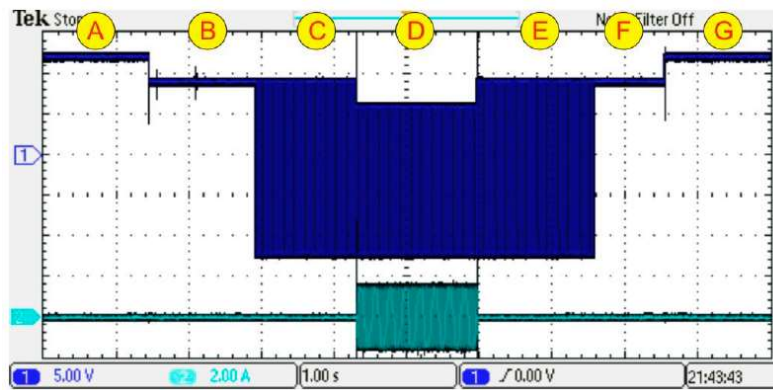


Figura 3.31 Simulación de las señales de comunicación entre estación de carga y VE [16].

Con la ayuda del osciloscopio del laboratorio se pudo constatar estos estados de comunicación de la señal control piloto con el VE de la compañía Kia, modelo Soul EV 2016. En la Figura 3.32, se puede observar la señal azul de izquierda a derecha, la cual indica los estados desde el A hasta el D. Estos estados corresponden a los detallados en la Tabla 2.22.

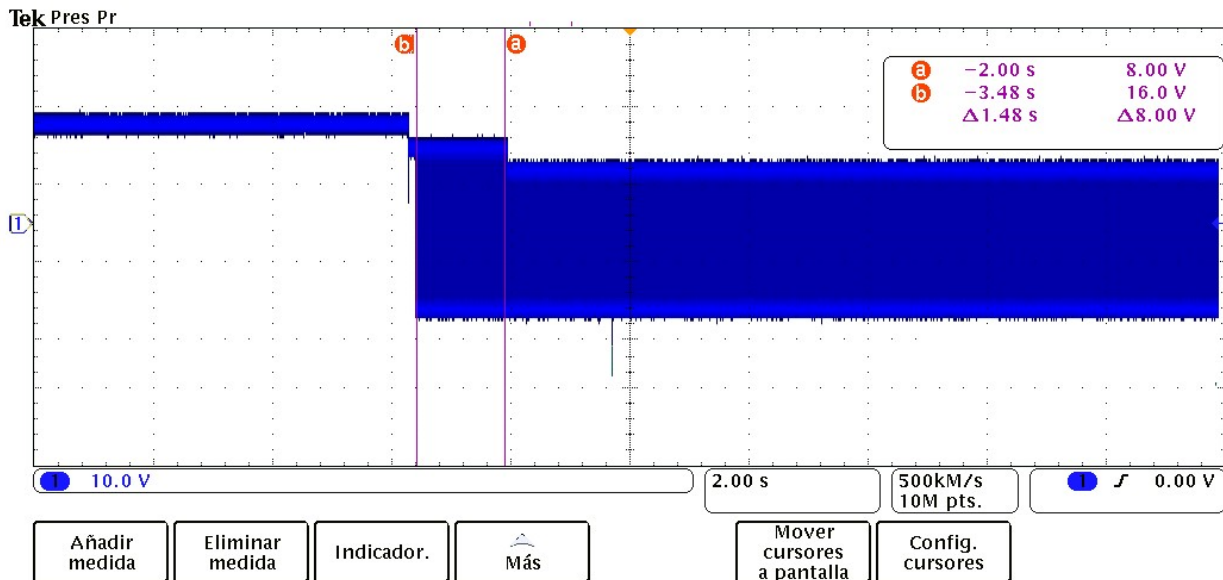


Figura 3.32 Estados de comunicación de la señal control piloto en un VE Kia Soul EV 2016

3.6.3 Diagrama de flujo del control de simulación de la comunicación de una estación de carga

La simulación corresponde en gran parte al desarrollo de programación por lo que a continuación se presenta de manera general como se realizó la simulación mediante un diagrama de flujo como se ve en la Figura 3.33. La simulación se basa en el lenguaje de programación de Python y la biblioteca gráfica Qt. Para la simulación de la estación de carga se utiliza un dispositivo electrónico conocido como Raspberry Pi y para la simulación de un VE se utiliza un ordenador

con sistema operativo Ubuntu 16 y de igual manera se utiliza software de código libre como es Python.

El proceso de la simulación empieza por verificar si existe voltaje en las fases (220 VCA) por medio del medidor de energía, luego se verifica que haya conexión entre la raspberry y el ordenador, para ello se envía un mensaje mediante serial entre la estación u ordenador. Después de verificar que existe el correcto suministro de energía y que haya conexión entre estación y ordenador se procede a verificar si el usuario está registrado en la base de datos del sistema, para ello el usuario debe acercar su tarjeta al lector y el sistema validará si el usuario está registrado en el servidor. Si el usuario ha sido aceptado pasa al siguiente menú de la interfaz gráfica dónde se presenta dos modos de carga, carga por tiempo y carga completa. Una vez seleccionado el tipo de carga empieza la simulación de la comunicación Estación-VE de acuerdo al estándar IEC 61851. Una vez que la comunicación para simular la carga termina el sistema eléctrico cierra un contactor para dejar circular corriente y simular el consumo energético colocando cargas como barras de niquelina a 6 kW máximo de potencia nominal cada una de ellas. Una vez concluido el proceso de carga se abre el contactor y los sistemas de la interfaz gráfica se detienen y envían el valor final de consumo de energía hacia el servidor, así como el tiempo, el precio por el consumo de energía.

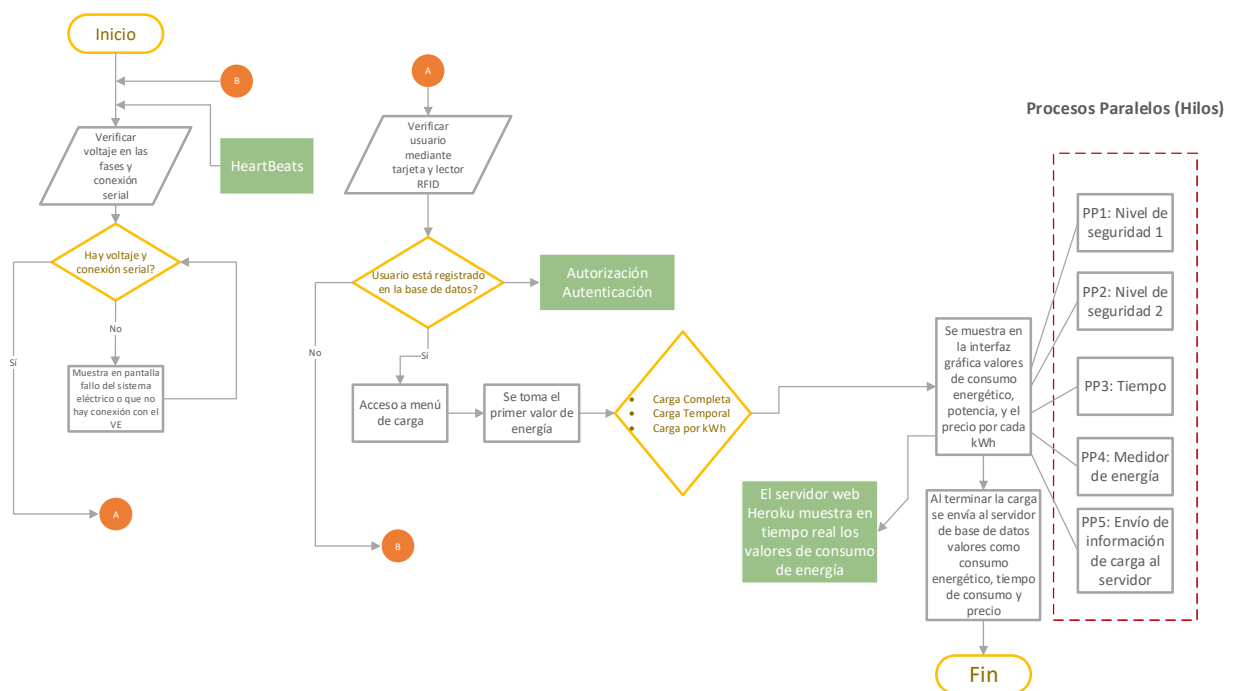


Figura 3.33 Diagrama de flujo del proceso de simulación de comunicación Estación-VE

En la Figura 3.34 se presenta un diagrama de bloques que corresponde a la secuencia de los estados de comunicación a través de la señal de piloto, entre la estación de carga y el VE, tal y como indican las normas IEC 61851-1 y SAE J1772. Ambos estándares adoptan el mismo sistema de comunicación en base a estados, los cuales son necesarios para que el sistema de alimentación y el VE se puedan “entender” y la energía se entregue de manera correcta.

La comunicación inicia enviando una señal de “start” al ordenador. Este recibe la orden de comenzar a simular los estados y presentar por pantalla una representación gráfica de estos. Al llegar al estado D, que es el estado que simula la carga en sí del vehículo, el contactor se cierra para que la estación entregue energía a unas barras de níquelina con una potencia máxima de 6 kW.

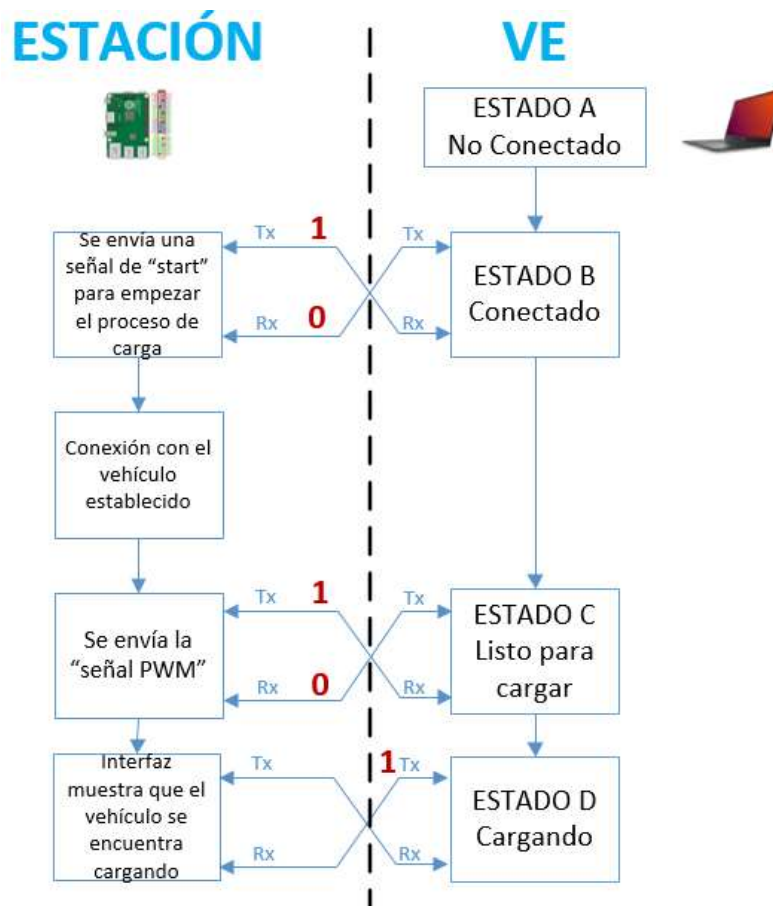


Figura 3.34 Diagrama de bloques para simulación de los estados de comunicación entre estación de carga y VE

3.7 Pruebas de la simulación

En la Figura 3.35 se observa que se ha simulado los estados de comunicación por el cual pasa el vehículo eléctrico para llegar a cargar el vehículo, esta comunicación se basa en el estándar de la SAE J1772 y también en la norma IEC 61851 que toma como referencia de igual forma el estándar de la SAE. La Figura 3.35 muestra en primer lugar el estado B el cual corresponde a la conexión entre estación-VE, el estado C recibe la señal PWM del controlador y el estado D está listo para cargar.

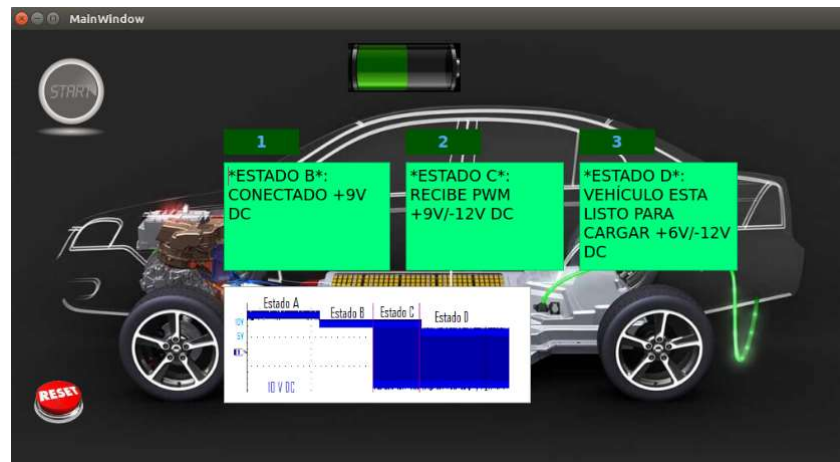


Figura 3.35 Simulador de las señales de comunicación de un VE y un EVSE.

En la Figura 3.36 se observa la interfaz de bienvenida al usuario del simulador de control de estación de carga, lo primero que se puede observar es un mensaje de bienvenida al usuario y una opción para que el usuario ingrese al control de la estación y poder simular el control de carga de un vehículo eléctrico. Para llevar un control de acceso a los usuarios se hace uso de tarjetas RFID. Cada tarjeta RFID será exclusivo para cada usuario por lo que llevar un control de usuarios de esta manera será más práctico.



Figura 3.36 Interfaz de bienvenida al usuario

En la siguiente interfaz véase la Figura 3.37 se selecciona los modos de carga, carga normal y carga temporal. Además, se observa el saldo del usuario con el que se haya identificado.

Con la opción de carga normal se simula una carga constante sin límite de tiempo o hasta que el sistema de administración de baterías del vehículo indique que ya están las baterías del vehículo cargadas al 100% y haga que se detenga la carga. Por otro lado, se tiene la carga temporal la cual como su nombre lo indica simula una carga por tiempo, los tiempos establecidos son de 30 minutos, 45 minutos, 1 hora y 2 horas de recarga.



Figura 3.37 Selección del modo de carga

Una vez establecido el parámetro de selección de modo de carga comienza la simulación del proceso de carga cerrando el contactor y dejando pasar corriente hacia la carga. En la Figura 3.38 se observa la interfaz del proceso de simulación de carga, se puede ver un botón con forma de stop para terminar la simulación de carga. Además, es importante observar parámetros técnicos como la energía aparente que se ha estado consumiendo, la potencia con la que se está trabajando y el precio en función de la energía consumida. Otros parámetros importantes se verán en el siguiente capítulo. Las pruebas de carga que simularon ser las baterías de un VE se realizaron en el laboratorio de Micro Red en el campus Balzay de la Universidad de Cuenca con unas cargas de resistencias de niquelina, en total fueron 3, cada una con un consumo de 6 kW por lo que la potencia de consumo fue de 18 kW.



Figura 3.38 Interfaz de la simulación del proceso de carga.

3.7.1 Aspectos de seguridad para la simulación en la estación de carga

Es importante simular casos donde se presenten fallos en la estación de carga o en el vehículo eléctrico para ello se ha considerado dos casos importantes de los cuales toman como nombre “Niveles de Seguridad”, son dos niveles de seguridad de los cuales la estación toma en cuenta a

la hora de realizar la carga o durante su estado inactivo. A continuación, se describen estos dos casos importantes de seguridad.

3.7.1.1 Nivel 1 de Seguridad

En este nivel de seguridad la estación debe estar censando los niveles de tensión en cada una de las tres fases mediante la ayuda de un medidor de energía, si una de las líneas trifásicas L-N disminuye su voltaje por debajo de los 200 VCA la potencia que se está entregando a la carga no va ser la adecuada, además de existir un desequilibrio en las tensiones como se observa un ejemplo en la Figura 3.39 en donde las amplitudes de las fases son diferentes. Al existir este problema la estación debe detener la recarga que se está realizando en ese momento y mostrar al usuario el problema que se está presentando.

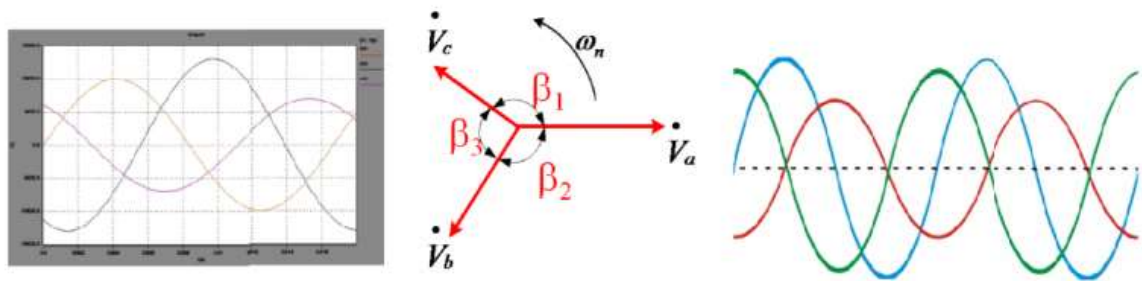


Figura 3.39 Tensiones desequilibradas [57].

3.7.1.2 Nivel 2 de Seguridad

Continuando se tiene el nivel 2 de seguridad para lo cual la estación durante el proceso de carga debe estar censando si el consumo de energía varía con el tiempo, si varía con el tiempo la estación estaría operando de manera correcta porque existe un consumo de energía, si por el contrario no existe un consumo entonces se debe a dos problemas el primero puede ser error en el medidor y el otro más importante y peligroso que las baterías del vehículo eléctrico no estén cargándose. Si existe estos problemas entonces la estación debe cortar el suministro eléctrico e indicar al usuario el problema que se está presentando.

3.7.1.3 Diferencial

Dado que un interruptor diferencial es un dispositivo mecánico y que actúa de manera independiente este representa un elemento de seguridad muy importante dentro de toda estación de carga pues se encarga de evitar que “fugas de corriente” puedan provocar una descarga eléctrica al contacto con la estación debido a un posible fallo de conexión en el sistema eléctrico. Este dispositivo conocido también como RCD (dispositivo de corriente residual) va abrir de manera instantánea un circuito eléctrico para evitar daños graves a causa de una descarga eléctrica que se produzca.

Como se observa en la Figura 3.40 su funcionamiento se basa en la medición de la intensidad de corriente que entra en un circuito y la que sale del mismo. Si la medición es la misma, quiere decir que no se pierde por ningún sitio y que la instalación es correcta, pero si la medición es diferente, quiere decir que la intensidad se está perdiendo por algún lugar.

El RCD está diseñado para que la corriente se interrumpa en milisegundos, lo que reduce en gran medida las posibilidades de que se reciba una descarga eléctrica peligrosa.

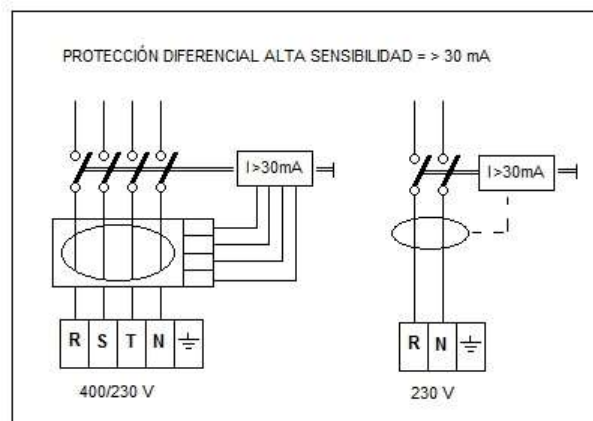


Figura 3.40 Esquema interruptor diferencial [58].

Capítulo 4 : Implementación de un prototipo de estación de carga bajo el modo 3 para vehículos eléctricos

4.1 Esquema general y diagrama de flujo del control del prototipo de estación de carga

La Figura 4.1 muestra el diagrama de flujo para el control del prototipo de estación de carga, el diagrama de flujo es muy similar al proceso de simulación visto en el Capítulo 3, la principal diferencia radica ahora que se va controlar la carga real en un VE bajo el modo 3. Se observa en la Figura que para la programación se utilizó procesos paralelos o conocidos comúnmente como hilos en programación. Estos hilos ayudarán a controlar ciertas características de la estación de manera paralela al programa principal. En orden prioritario se tiene:

- Botón de emergencia
- Nivel de seguridad 1
- Nivel de seguridad 2
- Tiempo
- Medidor de energía
- Envío de información de carga al servidor
- Lectura de estados del controlador

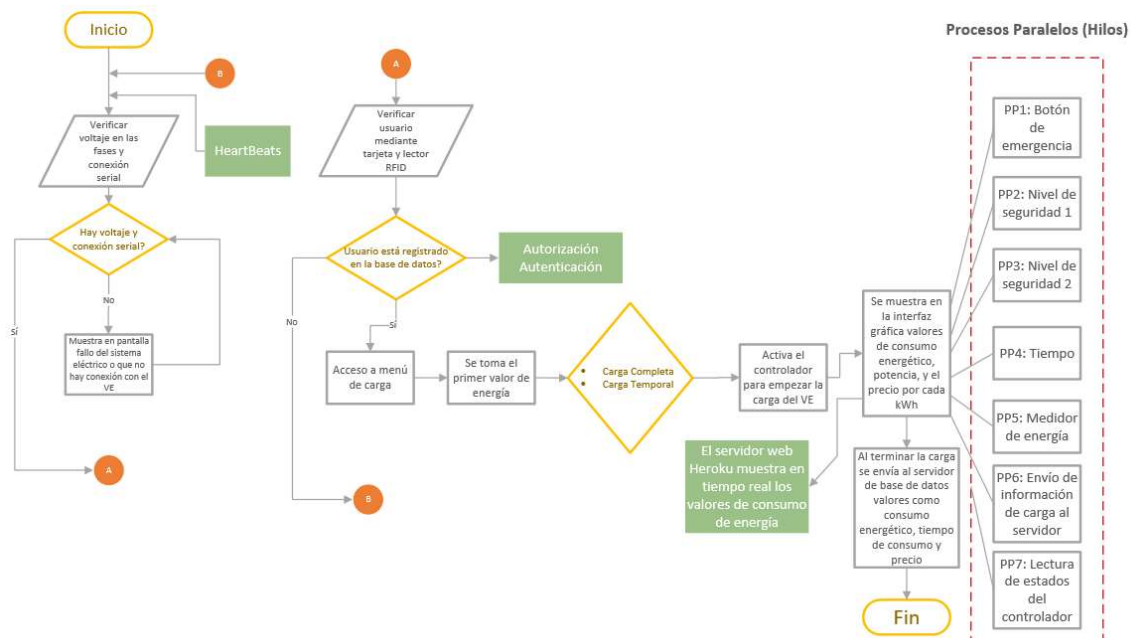


Figura 4.1 Diagrama de flujo para el control del prototipo de estación de carga

Ahora como se observa en la Figura 4.2 se presenta un esquema general eléctrico del prototipo de estación de carga desarrollado con diferentes elementos descritos con más detalle en el Capítulo 3. Comenzando desde la parte inferior se tiene las entradas de fuentes de voltaje R, S,

T, N y protección de Tierra, estas fases van conectadas directo hacia un interruptor diferencial como medida de seguridad, luego las fases pasarán por los sensores o transformadores de corriente, estos se conectarán con un medidor de energía que registrará los valores de corriente de cada fase, el medidor de energía registrará valores de tensión, potencia y energía, estos valores son importantes puesto que se visualizarán en la interfaz de usuario y se realizará el cobro por la tarifa de consumo energético. Por último, se tiene un contactor el cual abre o cierra el paso de corriente dependiendo de la señal del controlador que se comunicará con el VE. Cada fase se conectará al conector del VE del estándar IEC 62196 tipo 2, así como las señales de control piloto, señal de proximidad y tierra

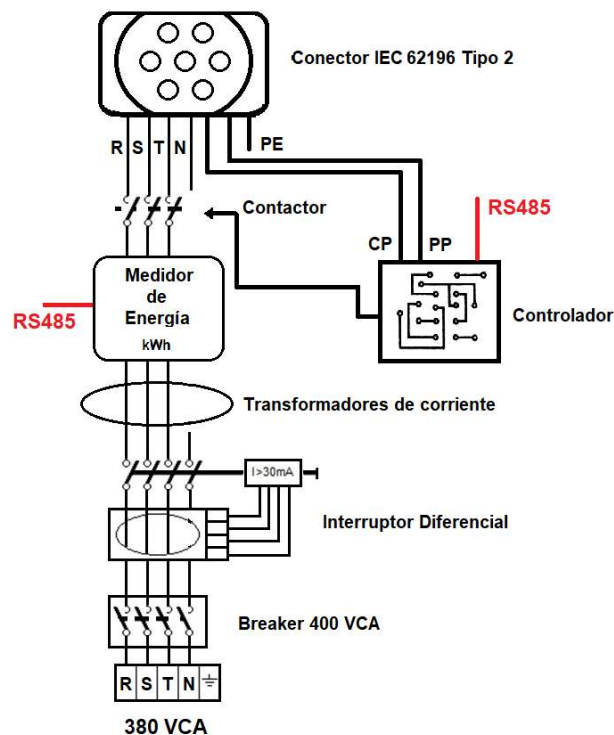


Figura 4.2 Esquema general del prototipo de estación de carga

4.2 Circuito Controlador

El circuito controlador es una de las piezas fundamentales de la estación de carga ya que con ella se logra la comunicación con el vehículo eléctrico con el objetivo de cargar las baterías de este. El controlador utilizado posee varias características de las cuales se describirán más adelante, pero es importante mencionar que el controlador permite la comunicación con varios conectores de VE que trabajen en CA, por ejemplo, este controlador permite trabajar con el estándar estadounidense nivel 2 SAE J1772, el europeo modo 3 IEC 61851-1 y el estándar chino modo 3 GB/T 18487.1. Entre las características más relevantes de este controlador se tiene:

- Corriente máxima de carga: 16 A, 32 A, 64 A.
- Puerto Proximidad: detección del amperaje en el enchufe conectado a la estación de carga. Evaluación de la resistencia de proximidad basada en la norma IEC 61851-1.
- Control a través del protocolo Modbus para control vía remota.
- Indicador de estados de comunicación (B, C, D, E).

El controlador de carga utilizado está desarrollado para controlar el elemento de conmutación que se utiliza para establecer la conexión entre la red eléctrica y el vehículo eléctrico. Tiene una interfaz de comunicación a través del cual se pueden leer datos de estado y escribir señales de control a través del protocolo Modbus. El controlador de carga como se mencionó monitorea las señales de Control Piloto y el conector de Proximidad.

El controlador permite leer los estados A, B, C, D, E, F de acuerdo al estándar IEC 61851-1, cada estado corresponde a un valor de 16 bits, estos valores están dados por el fabricante del controlador así que es importante leer estos valores para realizar el posterior control de la estación de carga, para leerlos el controlador dispone del protocolo Modbus y mediante la interfaz RS485 que es una capa física de comunicación esta capa física es el canal de comunicación y método de transmisión de la señal de los datos. Se puede acceder al controlador desde un dispositivo microcontrolador con entrada USB o la Raspberry Pi en este caso. A continuación, véase la Tabla 2.22 donde se ha obtenido los valores que brinda el controlador de acuerdo a cada estado.

Tabla 2.22 Valores de estados de acuerdo al controlador

Estado	Valor decimal
A	16689
B	16945
C	17201
D	17457
E	17712
F	17713

Anteriormente se ha visto estos estados, el estado “A” por ejemplo corresponde a que no se ha conectado aún el conector de carga al vehículo por lo que si se mide en el Control Piloto se debe reflejar un valor de 12 VDC, hasta llegar al estado D donde el vehículo ya se encuentra cargando. A continuación, se presenta un esquema general del controlador utilizado para la comunicación con el vehículo eléctrico.

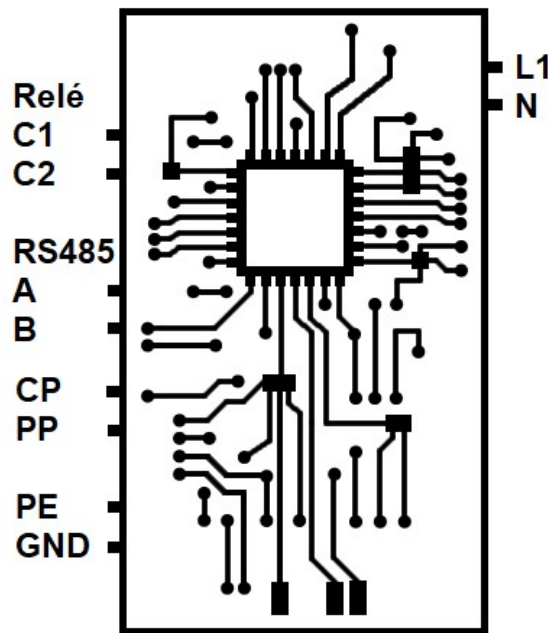


Figura 4.3 Esquema de los puertos de salida que posee el controlador para el prototipo de la estación de carga

Como se observa en la Figura 4.3 el controlador cuenta con varios puertos de entrada y salida. El controlador se alimenta con un voltaje de 110/220 VCA, pero internamente cuenta con circuitos rectificadores para alimentar los demás elementos electrónicos con corriente continua. El funcionamiento del controlador se basa en el esquema del circuito de control piloto de la Figura 3.30, enviar una señal PWM al puerto de carga del vehículo y cargar las baterías de este. El Duty Cycle que se debe ajustar a la señal PWM a 1 KHz debe ser aproximadamente del 90% para una corriente de 63 A. La potencia en total para cargar en modo 3 será de alrededor 43 kW, vehículos eléctricos de la marca BYD tienen el puerto de carga tipo 2 del estándar IEC 62196 y aceptan potencia de carga de alrededor de los 40 kW.

Dado que el controlador posee características de comunicación mediante la interfaz física RS485 y con la ayuda del protocolo Modbus se envía una señal de activación en el registro correspondiente del Mapa Modbus del controlador y posteriormente empieza el proceso de recarga de las baterías del vehículo eléctrico. Un coil es un nombre para direcciones de memoria otra manera de verlo es que un coil es una variable booleana (bit) y un registro es una variable entera (palabra). Mediante la programación en Python se debe enviar un valor booleano al controlador con el fin de empezar la carga al vehículo. A continuación, véase un fragmento de la programación desarrollada en Python para empezar la carga del vehículo:

```
client = ModbusSerialClient(method='rtu',  
port=puerto_controlador,baudrate=9600,timeout=3,parity='N',stopbits=1,bytesize=8)  
  
connection=client.connect()  
  
client.write_coil(20000,True,unit=1)
```

client.close()

El código anterior es un fragmento de toda la programación desarrollada para el control de la estación de carga, lo importante aquí es la manera de comunicarse al controlador mediante el protocolo *Modbus y de forma serial*. Para usar *ModbusSerialClient* es necesario el paquete *pymodbus.client.sync* que se puede encontrar en la página web pypi.org de librerías de Python, como parámetros de este método *ModbusSerialClient* se tiene en primer lugar el método=*rtu* para la comunicación serie, seguido de esto se especifica el puerto donde se conecta a la interfaz USB del raspberry, luego se especifica los baudios que comúnmente se trabaja a 9600 bps, un timeout de 3 segundos si no se recibe datos, paridad ninguna, número de bits de parada 1 y el tamaño de la trama que es 8 bits. Para empezar a cargar el vehículo se debe escribir en el registro Modbus correspondiente del controlador, este registro se encuentra en el 20000 y se escribe en ese registro un valor booleano de True para empezar la carga o False para detener la carga.

En resumen, véase la Figura 4.4, el controlador es una parte importante de la estación de carga con ella se logra la comunicación entre la estación de carga y vehículo eléctrico a través del control piloto de acuerdo a los estándares IEC 61851-1, SAE J1772, GB/T 18487.1

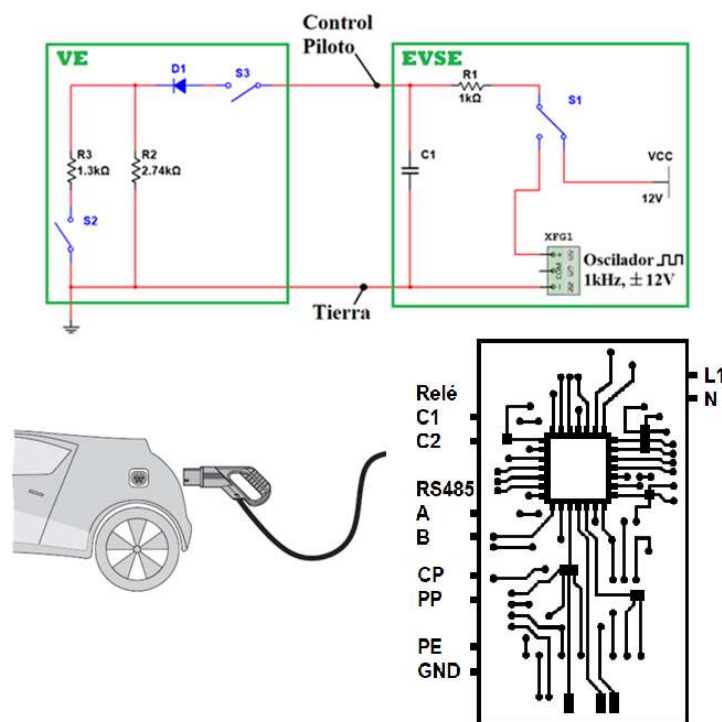


Figura 4.4 Circuito control piloto y controlador

4.3 Detección de proximidad

La detección de proximidad se utiliza para detectar un conector de carga en la estación de carga y para determinar su capacidad de carga actual. La Figura 4.5 muestra un esquema general del funcionamiento de detección de proximidad, se observa la resistencia R_C , donde dependiendo su valor óhmico se limitará la tasa de corriente que entregará la estación al VE

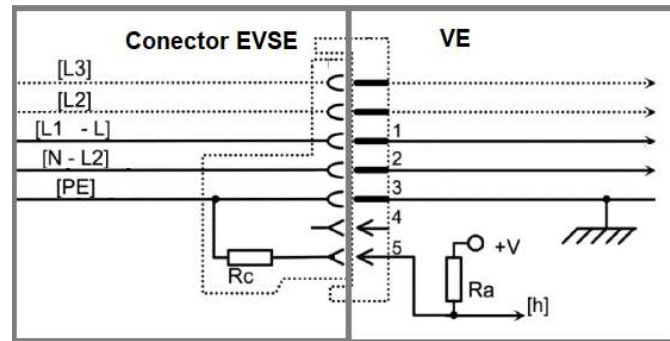


Figura 4.5 Esquema de detección de proximidad 1

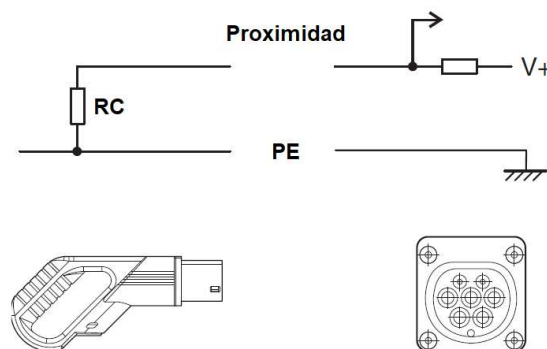


Figura 4.6 Esquema de detección de proximidad 2

La capacidad de corriente máxima que permite entregar el conector usado se identifica según IEC 61851-1 por medio de la resistencia R_C como se ve en la Figura 4.6. El controlador determina el valor de resistencia a través de la señal PP (enchufe de proximidad) y determina la capacidad de carga de corriente del cable de carga conectado. La codificación de la corriente admisible para el valor de resistencia se define en el estándar IEC 61851-1, los valores de R_C están dados en la Tabla 2.23.

Tabla 2.23 Codificación de la corriente admisible para el valor de resistencia según IEC 61851-1

Valor de resistencia R_C según estándar	Rango de tolerancia	Capacidad de carga actual resultante
-	$< 75 \Omega$	Error
100 Ω	75 Ω ... 150 Ω	63 A

220 Ω	150 Ω ... 330 Ω	32 A
680 Ω	330 Ω ... 1000 Ω	20 A
1500 Ω	1000 Ω ... 2200 Ω	13 A
-	> 2200 Ω	0 A

4.3.1 Evaluación de la señal de Proximidad según GB/T 18487.1

Según la norma GB/T 18487.1, se detecta un conector de carga cuando se existe un valor de resistencia de 0 Ω en el enchufe de proximidad. En la norma GB/T 18487.1, no se proporciona la codificación de la capacidad de carga actual en la estación de carga.

4.4 Control medidor energía

Es importante llevar un control de consumo de energía cuando se va hacer una recarga a un vehículo eléctrico para ello se hace uso de medidor de energía, el medidor de energía utilizado para el prototipo de estación de carga es un MFM376 marca SELEC. La ventaja de usar este medidor de energía es que posee comunicación Modbus a través de la interfaz física RS485/USB por lo que será de mucha utilidad para poder leer los valores de energía en el dispositivo Raspberry Pi. Otros valores importantes que se puede leer del medidor son voltajes, corriente y potencia. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente en los niveles de seguridad si no existe la suficiente magnitud de voltaje en una de las fases trifásicas el dispositivo Raspberry Pi muestra en pantalla que no se puede realizar la recarga del vehículo debido a este desequilibrio en las tensiones. En otras palabras, si una de las fases de 220 VCA disminuye su magnitud por debajo de los 200 VCA se debe mostrar un mensaje de alerta y detener el proceso de carga del vehículo.

De igual manera que el código de programación anterior para la comunicación con el controlador y con el mapa Modbus del fabricante del medidor de energía se inicia la comunicación con el medidor de energía y el dispositivo Raspberry Pi mediante el puerto USB correspondiente. Los valores a leer del medidor son: voltaje, potencia, y energía aparente. Como se observa en la Figura 4.7 los valores de energía y potencia se muestran en la interfaz gráfica de información de carga. Las unidades de medida de energía están dadas en kVAh y las unidades de potencia están dadas en kW. El precio que se muestra en pantalla es en base a la energía consumida, el precio que se estableció por el kWh es de \$0.20, como se observa además en la Figura 4.7 se tiene un consumo de energía de 0.32 kVAh por lo que multiplicado por el precio del kWh da un total de \$0.06. Esta tarifa por lo tanto se descuenta al usuario de carga actual y además se refleja en el servidor de base de datos almacenado en la nube.



Figura 4.7 Información del proceso de carga.

4.5 Botón de emergencia

Como medida de seguridad toda estación de carga debe contar con un botón o interruptor de emergencia pues como su nombre lo indica se debe presionar en caso de emergencia, algunos casos puntuales podrían presentarse como, por ejemplo, una falla en la interfaz gráfica, falla en el dispositivo Raspberry Pi, o si el vehículo eléctrico presentará fallas propias de sí. En la Figura 4.8 se observa el esquema del circuito del botón de emergencia en el cual está implementado físicamente en la estación de carga. El sistema de botón de emergencia cuenta con dos interruptores internos, el primero va a cortar la fuente de 220 VCA que alimenta la bobina del contactor haciendo que la energía deje de cargar las baterías del vehículo eléctrico. El segundo servirá para configurar un circuito *pull down* y leer el estado: *HIGH* o *LOW* en una de las entradas GPIO de la Raspberry Pi. Al leer estos estados se mostrará en pantalla que se ha presionado el botón de emergencia, posterior todas las animaciones del proceso de carga se detendrán y se enviará un mensaje de apagado al controlador. Para volver a utilizar la estación normalmente es necesario desactivar el botón de emergencia.

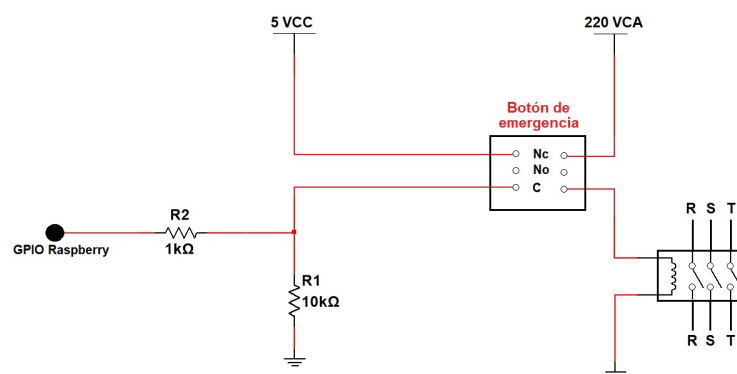


Figura 4.8 Circuito de botón de emergencia

En la Figura 4.9 se observa el botón de emergencia utilizado para la estación, es un botón marca CAMSCO con dos interruptores internos cuya función ya se explicó anteriormente.



Figura 4.9 Botón de emergencia

4.6 Realimentación del contactor

La función del contactor es muy importante porque de este depende que circule la corriente eléctrica y cargue las baterías del vehículo eléctrico es por ello que dentro del contactor existe un interruptor de normalmente abierto, con este interruptor indicando que se ha cerrado correctamente el contactor y que la corriente este circulando hacia el VE se procede a armar otro circuito en configuración “*pull down*” con el objetivo de mostrar en pantalla un mensaje que diga falla en el sistema eléctrico en caso de existir alguna falla en el contactor y este no se cerrará cuando se envía la señal de comenzar carga al controlador. Entonces como se observa en la Figura 4.10 se tiene un circuito en configuración “*pull down*” donde la Raspberry Pi va a leer el estado HIGH o LOW del circuito en una de sus entradas GPIO. Esto sirve como una retroalimentación para saber si al momento de enviar la señal de cargar al vehículo al controlador a través de la interfaz física RS485 este procede a cerrar el contactor haciendo que circule la energía hacia el VE. Si no se cerrará el contactor se presentaría una falla en este por lo que se entiende que el contactor tiene una avería la cual tendría que ser revisada.

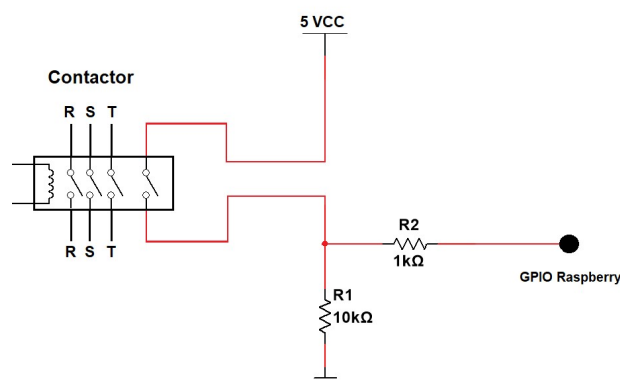


Figura 4.10 Circuito de seguridad de contactor

En la Figura 4.11 se observa que se ha implementado un mensaje de aviso de falla en el sistema eléctrico en la interfaz gráfica esto debido a que el relé encargado de cerrarse para cargarse el vehículo eléctrico no se ha cerrado debido a una falla mecánica propia del contactor.



Figura 4.11 Mensaje de falla en el sistema eléctrico

4.7 Interfaz Gráfica

Para interactuar con la estación de carga y como objetivo de este proyecto de titulación se desarrolló una interfaz gráfica para que un usuario común que desee recargar su vehículo eléctrico pueda realizarlo de manera interactiva. Con el uso de herramientas *open source* como Python y el uso de herramientas como Qt para aplicaciones gráficas se facilitó en gran medida el desarrollo de la interfaz gráfica por todas las herramientas que ofrecen y las soluciones que se pueden encontrar en la red.

4.7.1 Menú Bienvenida

Como primera parte de la interfaz se tiene el menú de presentación donde el usuario empieza a interactuar con la estación mediante un botón en la pantalla táctil de 7 pulgadas. En la pantalla se muestra un botón para que el usuario pueda empezar a cargar su VE llamado “COMENZAR”, una vez que se oprime el usuario debe tener disponible su tarjeta RFID que debe estar previamente registrada en la base de datos del sistema y acercarla al lector para que la estación identifique la tarjeta, valide y posterior acceder al siguiente menú. En la Figura 4.12 se observa la interfaz de bienvenida de la estación de carga realizado en PyQt5.



Figura 4.12 Menú de bienvenida

4.7.2 Menú modo de carga

Una vez que el sistema ha validado la tarjeta RFID del usuario el sistema procede a pasar al siguiente campo donde se muestra las opciones para cargar el vehículo eléctrico, con validado se refiere a que el sistema verifica que la tarjeta RFID del usuario se encuentre en la base de datos del servidor y que su saldo sea superior a los \$0.00 caso contrario si no existe dicho ID de la tarjeta RFID de usuario simplemente no se accederá al menú de modo de carga. Dentro del menú de selección de modo de carga véase la Figura 4.13 se tiene dos opciones, Carga Completa y Carga Temporal. El primer modo de carga realiza la carga del VE hasta cargar por completo las baterías del vehículo eléctrico, en el caso del modo 3 el tiempo de duración de la carga va depender de la capacidad de almacenamiento de la batería del vehículo, el estado de la batería del vehículo, el porcentaje de carga de la batería. Esta estación ofrece una capacidad máxima de carga de 43 kW de potencia por lo que cargar una batería de 40 kWh tardaría alrededor de una hora y poco más. El segundo modo de carga temporal hace referencia a una carga por tiempo, para ello se tiene 4 opciones de tiempo, desde los 30 minutos hasta las 2 horas. Cualquiera de las opciones de tiempo va cargar el vehículo de acuerdo al límite de tiempo establecido.



Figura 4.13 Menú modo de carga.

Como método de asistencia al usuario y gracias a los estados que se pueden leer con el controlador se puede implementar un aviso si en caso el conector de la estación no está conectado al vehículo eléctrico y se va realizar una carga, por lo tanto, se muestra en pantalla un aviso para conectar el cargador al vehículo como se ve en la Figura 4.14.



Figura 4.14 Aviso de conexión del cargador

4.7.3 Menú información del proceso de carga

Este último menú es el más importante puesto que muestra toda la información necesaria durante el proceso de carga, como se mencionó en un principio la estación cuenta con un medidor de energía, con la ayuda del medidor y mediante el protocolo Modbus y través de la interfaz física RS485 se puede obtener los valores de energía aparente y potencia para que sean visualizadas durante el proceso de carga, con el valor de energía se puede establecer un precio por cada kWh de consumo.

Dentro de los sistemas de seguridad que tiene la estación se encuentra los niveles de seguridad antes mencionados, recordando el primer nivel hace referencia a verificar los niveles de tensión en la red trifásica, el segundo a verificar si se está consumiendo energía por parte del vehículo eléctrico. De acuerdo al problema que existiese por las razones mencionadas se mostrará en la interfaz el problema y se procederá a detener la carga.

Si se desea detener la carga manualmente se tiene la opción de un botón de apagado como se observa en la Figura 4.15. Gracias al controlador y a los estados que provee por medio del protocolo Modbus si en caso de fallo en el controlador también se puede leer este valor y alertar al usuario con un mensaje de ERROR en la interfaz.



Figura 4.15 Interfaz proceso de carga

4.8 Pruebas de funcionamiento

Para verificar el correcto funcionamiento de la interfaz, así como toda su programación de por medio, se procedió a realizar las pruebas de carga en el vehículo Kia Soul EV 2016, las pruebas se realizaron en este vehículo debido a la disponibilidad que se tuvo. El Kia Soul posee un puerto de carga en CA correspondiente al estándar SAE J1772, mediante este puerto de carga la estación puede proporcionar hasta 6kW que es la potencia límite que acepta el vehículo en carga CA.

4.8.1 Pruebas en un vehículo eléctrico Kia Soul EV 2016

Las pruebas de carga se realizaron en un vehículo eléctrico Kia Soul, debido a la disponibilidad del vehículo en los laboratorios de Micro Red se pudieron realizar diversas pruebas a fin de corregir varios errores en la interfaz y con el fin de optimizar la interfaz durante el proceso de carga. El vehículo cuenta con dos puertos de carga uno en CA de carga lenta y otro en DC para carga rápida. El conector para cargar el vehículo en corriente alterna corresponde al estándar estadounidense de la SAE J1772 como se ve en la Figura 4.16, de acuerdo a la especificación de carga del fabricante del vehículo eléctrico este acepta una potencia aproximada máxima de 6 kW en CA. En carga rápida este acepta una potencia de 50 kW, pero con el conector del protocolo CHAdeMO.



Figura 4.16 Estación de carga con un vehículo eléctrico Kia Soul EV 2016

4.8.2 Pruebas en un vehículo BYD E5 400

Para las pruebas de carga bajo el modo 3 se tuvo la oportunidad de probarlo en un vehículo de la compañía BYD modelo E5 400 con capacidad de almacenamiento en las baterías de 60 kWh, generalmente las baterías de este modelo vienen con una capacidad de almacenamiento de 40 kWh, además posee conector de acuerdo al estándar IEC 62196 tipo 2. Las pruebas se realizaron con un porcentaje de batería del 33%. La potencia que entrega la estación en modo 3 es de aproximadamente 43 kW máxima debido al voltaje y corriente que se trabaja, es decir:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{Ecuación 3})$$

Asumiendo que no hay pérdidas:

$$P = \sqrt{3} \cdot 380 \text{ V} \cdot 63 \text{ A} \cdot \cos 0$$

$$P = 41.465 \text{ kW}$$

Con un voltaje de 400 VCA se tiene:

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 63 \text{ A} \cdot \cos 0$$

$$P = 43.647 \text{ kW}$$

Para llegar a este valor de voltaje de 400 VCA se necesita un transformador elevador de 220 VCA a 400 VCA. Como se observa en la Figura 4.17 se realizaron las pruebas de carga en el vehículo eléctrico BYD, el tiempo de carga tomo alrededor de una hora y media debido al estado de carga de la batería del vehículo eléctrico.



Figura 4.17 Estación de carga con un vehículo eléctrico BYD E5 400.

Además, en la Figura 4.18 se observa el proceso de carga mediante la interfaz gráfica en ella se ve varios parámetros como la potencia, energía consumida, tiempo transcurrido, y precio. Esta prueba se realizó teniendo un porcentaje de batería del 33% en el VE.



Figura 4.18 Interfaz del proceso de carga

En la Figura 4.19 continua el proceso de carga con un tiempo transcurrido de 38 minutos, la energía consumida es de 25.47 kVAh y bajo una potencia nominal de 40 kW. El precio establecido por cada kVAh es de \$0.20 por lo que multiplicando por el factor de energía consumida se tiene el valor de \$5.09 a descontar al usuario que realiza la carga.



Figura 4.19 Prueba de carga de VE a los 38 minutos

En la siguiente Figura 4.20 se observa un período de tiempo transcurridos de 1 hora y 6 minutos aproximados, la potencia como se observa disminuye debido a que las baterías del vehículo sobrepasan el 80% de capacidad de almacenamiento por lo que la potencia que demanda el VE va disminuyendo hasta llegar a los 14 kW. El sistema reduce la potencia para no dañar las baterías del VE y por ende extender su vida útil.



Figura 4.20 Prueba de carga de VE a 1 hora

Finalmente se tiene el perfil de carga registrado en el sistema SCADA del laboratorio de Micro Red del VE como se ve en la Figura 4.21, se observa que la hora de inicio de carga fue aproximadamente a las 15:48h con una potencia nominal entregada de 40 kW, siendo las 16:50h la potencia empieza a disminuir aproximadamente a los 30 kW, 16:53h la potencia decrece hasta los 14 kW, este último valor de potencia es por cual el VE se mantiene para cargar sus baterías hasta llegar al 100% de capacidad. Siendo las 17:04h aproximadamente la estación ha cargado por completo las baterías del VE. El tiempo transcurrido fue de 1 hora y 15 minutos

aproximadamente, de aquí se concluye que la principal ventaja de los VE con capacidad de carga semi-rápida en AC es el reducido tiempo de carga.

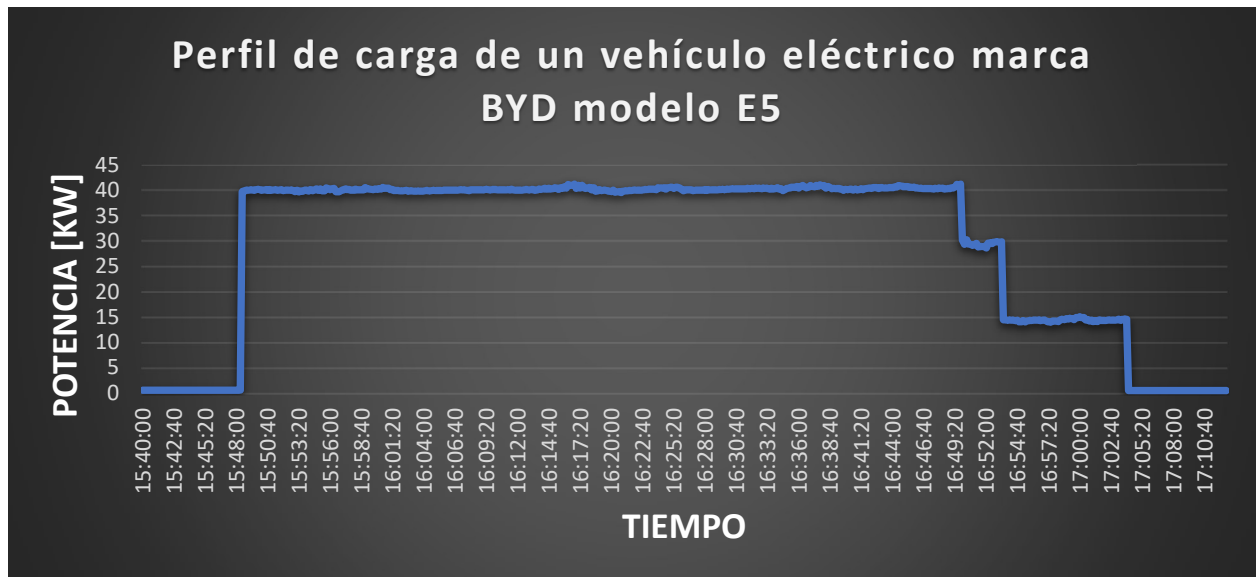


Figura 4.21 Prueba de carga de un VE BYD modelo E5

4.9 Infraestructura final del prototipo de estación de carga

En la Figura 4.22 se observa la infraestructura de estación de carga desarrollada para este trabajo de titulación, el material fabricado para la estación fue hecha en acero inoxidable 304, el acero 304 presenta gran resistencia contra la corrosión, el uso común de este acero permite ser un elemento de fijación en lugares de espacio público.



Figura 4.22 Prototipo de estación de carga

Capítulo 5 : Gestión de estación a través de servidor web

En este capítulo se explica el desarrollo y la lógica del sistema de gestión de estaciones de carga a través de un servidor web central. Cabe mencionar que, aunque se implementó únicamente una estación, el servidor fue diseñado para gestionar múltiples estaciones y brindar escalabilidad. Con ayuda del servidor se pueden llevar a cabo las rutinas de comunicación necesarias con las estaciones tales como heartbeats para indicar actividad, autorizaciones y autenticaciones para el proceso de carga y solicitudes de lista local. El servidor también gestiona los recursos (páginas web) solicitados por un usuario cuando este ingresa desde un navegador web y realiza acciones como logueo, reservaciones, visualización de transacciones en tiempo real, información de sus tarjetas, etc. El servidor gestiona también las páginas del administrador, a través de las cuales puede realizar acciones como agregar nuevas estaciones, tarjetas y usuarios al sistema, ver todas las transacciones realizadas y en curso, modificar el saldo de las tarjetas, etc. Finalmente, el servidor es almacenado en la plataforma como servicio Heroku, con el fin de poder gestionar el sistema de manera remota y no depender de una red local.

5.1 Estructura y gestión de información

Antes de proceder a desarrollar el código para el servidor, se debe definir una buena estructura de datos para poder gestionarlos de una manera adecuada y así evitar problemas futuros como datos innecesarios o repetidos.

5.1.1 Información relevante para el sistema servidor-estaciones

Dentro del sistema de servidor-estaciones, se manejan los siguientes parámetros y características:

Estaciones de carga. – Además de la información propia de las estaciones como nombre, ubicación, etc., se necesita conocer el estado de las mismas, como por ejemplo si están activas, inactivas, cargando, etc.

Tarjetas RFID. – Las tarjetas RFID sirven como el método de autenticación de un usuario para realizar transacciones de carga. El saldo no se almacena directamente en la tarjeta, sino que es almacenado dentro de un registro que relaciona la tarjeta, el saldo y el dueño de la tarjeta. Finalmente, se permite la opción de que cada usuario pueda tener una o más tarjetas.

Usuarios. – Son las personas que se registran en el sistema a través de la creación de una cuenta. Cualquier persona puede crearse una cuenta de manera libre y sin la obligación de adquirir antes una tarjeta RFID. Esto con el fin de que pueda acceder a información importante acerca de las estaciones como la ubicación, el tipo de conector y la potencia máxima suministrada. Sin

embargo, como es de esperarse, no podrá realizar ninguna transacción de carga, ya que el método único de autenticación es la tarjeta RFID. Tampoco se le permitirán hacer reservaciones.

Transacciones de carga. – Los usuarios, junto con una tarjeta RFID previamente adjuntada a su cuenta, realizan transacciones de carga en las estaciones. Se almacena entonces información acerca de las mismas en modo de historial y además se permite que estas sean monitorizadas cuando están en curso, tanto por parte del usuario que realiza la transacción como por parte del administrador.

Reservas de carga. – Debido al tiempo que toma realizar una carga en una estación semi-rápida (AC) o incluso en una rápida (DC), pueden existir problemas en cuanto a los horarios en que los usuarios realizan sus transacciones de carga. Es por esto que, con el fin de brindar una mejor experiencia, se implementa la opción para que los usuarios reserven con anticipación una estación de carga en algún horario a su conveniencia (cualquier hora de cualquier día) y así evitar inconvenientes como encontrar la estación ocupada y tener que esperar.

En base a las características y parámetros mencionados anteriormente, se definen las siguientes tablas para la base de datos:

- estaciones
- estado_estacion
- tarjetas
- tarjeta_usuario
- usuarios
- transacciones
- reservas

Además de las tablas, se manejan los siguientes conceptos.

5.1.2 Tablas y campos de la base de datos

Una vez que ya se han definido las tablas a usar, se procede con la definición de sus respectivos campos y la explicación de los más importantes.

Tabla estaciones. – En esta tabla se almacena la siguiente información acerca de las estaciones:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id_estacion 	int(5)			No	Ninguna
2	codigo_estacion	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
3	nombre_estacion	varchar(50)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
4	ubicacion_estacion	varchar(50)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
5	conector_estacion	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna

Figura 5.1 Campos de la tabla estaciones

Como se puede observar en la Figura 5.1, se cuenta con un total de 5 campos que describen la información de cada estación. El hecho de usar un id de estación y un código de estación se debe a que el id será visualizado y usado por el usuario, mientras que el código será usado por el administrador y el sistema en sí para validación.

Tabla estado_estacion. – En esta tabla se almacena la siguiente información acerca del estado de las estaciones:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id_estacion	int(11)			No	Ninguna
2	hora	timestamp			No	current_timestamp()
3	estado	varchar(15)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
4	accion	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna

Figura 5.2 Campos de la tabla estado_estacion.

Como se puede observar en la Figura 5.2, se cuenta con un total de 4 campos, los cuales serán útiles para en conjunto definir el estado de cada estación. El campo más relevante es “hora”, en el que se almacena la hora (como un timestamp) del último mensaje recibido desde la estación, sea este un heartbeat, meter value o cualquier mensaje válido. A continuación, se definen los mensajes mencionados anteriormente.

Heartbeat. – Mensaje enviado periódicamente por parte de una estación al servidor central para indicar que sigue activa (encendida y conectada a internet). En la estación desarrollada, se estableció que los heartbeats sean enviados cada 300 segundos.

Meter value. – Mensaje enviado periódicamente por parte de una estación al servidor central cuando esta está cargando un vehículo eléctrico. Dentro del mensaje, se puede enviar cualquier parámetro como la potencia de carga, energía consumida hasta el momento, etc. En la estación desarrollada, se estableció que los meter values sean enviados cada 10 segundos.

El campo estado define el estado de la estación que puede ser:

- Activa
- Inactiva

Finalmente, el campo mensaje define qué tipo de mensaje se ha recibido por parte de la estación y puede ser:

- Heartbeat
- Meter values
- Sin mensajes
- Mantenimiento

Dependiendo de la combinación de los campos estado y mensaje, se definen los siguientes estados de estación mostrados a los usuarios.

Disponible para cargar. – La estación se declara como “disponible para cargar” cuando no hay ninguna carga en proceso en el momento y han pasado más de 20 segundos desde el último meter value y menos de 900 segundos desde el último heartbeat.

Ocupada, cargando. – La estación se declara como “Ocupada, cargando” cuando hay un proceso de carga en el momento y por lo tanto se han recibido meter values en los últimos 20 segundos.

Inactiva. – La estación se declara como “inactiva” cuando no se han recibido heartbeats o meter en los últimos 900 segundos.

Mantenimiento. – La estación se declara en “Mantenimiento” cuando el administrador, a través de las páginas web de administración, programa un horario en el que la estación no estará disponible y se le estará dando mantenimientos correctivos. Por lo tanto, a pesar de no recibir heartbeats o meter values en un intervalo de 900 segundos, el servidor no declara a la estación como “Inactiva”, dado que previamente se ha establecido que no se recibirá ningún mensaje por parte de ella.

Tabla reservas. – En esta tabla se almacena la siguiente información acerca de las reservas de carga.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id_reserva	int(11)			No	Ninguna
2	id_estacion	int(11)			No	Ninguna
3	id_usuario	int(11)			No	Ninguna
4	fecha_inicio	timestamp			No	current_timestamp()
5	fecha_fin	timestamp			Sí	NULL

Figura 5.3 Campos de la tabla reservas.

En la tabla de la Figura 5.3, se cuenta con un total de 3 Ids: el de la reserva en sí, el de la estación en la que se reserva y el del usuario que reserva. No se usa un id de tarjeta ya que, si el usuario cuenta con 2 tarjetas, por ejemplo, la transacción reservada la puede realizar con cualquier tarjeta de su pertenencia. Los campos fecha_inicio y fecha_fin, a través de un timestamp, indican las fechas de inicio y fin de la reserva de carga.

Tabla tarjetas. – En esta tabla se almacena la siguiente información acerca de las tarjetas.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id_tarjeta	int(10)			No	Ninguna
2	codigo_tarjeta	varchar(30)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
3	estado_tarjeta	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna

Figura 5.4 Campos de la tabla tarjetas.

Como se observa en la tabla de la Figura 5.4, cada tarjeta tendrá un id de tarjeta que está directamente relacionado con el número, es decir, con la cantidad de tarjetas registradas en el

sistema. se usa un id de tarjeta, además de su código RFID, con el fin de facilitar la identificación de las tarjetas sin necesidad de usar un lector de tarjetas RFID.

Finalmente, el campo estado_tarjeta tiene dos posibles valores: habilitada o deshabilitada. Este campo sirve para tener un control sobre las tarjetas, de tal manera que todas aquellas que sean registradas en el sistema legalmente por parte del administrador tendrán un estado de “habilitada”, mientras que aquellas en las que se detecten anomalías o intentos de carga sin ser parte del sistema, tendrán un estado de “deshabilitada”.

Tabla tarjeta_usuario. – En esta tabla se almacena la siguiente información acerca de las tarjetas y los usuarios.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id_tarjeta 	int(10)			No	Ninguna
2	codigo_tarjeta	varchar(30)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
3	id_usuario	int(10)			No	Ninguna
4	saldo	decimal(6,2)			No	Ninguna

Figura 5.5 Campos de la tabla tarjeta_usuario.

La tabla de la Figura 5.5 denota la relación existente entre tarjetas y usuarios. El hecho de que el campo saldo se encuentre en esta tabla y no en la de tarjetas, se debe a lo siguiente: Cuando el administrador registra una nueva tarjeta al sistema, esta se añade a la tabla “tarjetas”. Sin embargo, no necesariamente se debe ingresar un saldo ya que no se está adjuntando a un usuario. Es el momento en el que un usuario compra una tarjeta en el que a la misma se le asigna un saldo.

Tabla transacciones. – En la tabla de la Figura 5.6 se muestran los campos que almacenan información acerca de las transacciones.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
1	id_transaccion 	int(10)			No	Ninguna
2	codigo_transaccion	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
3	id_estacion	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
4	id_tarjeta	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna
5	hora_inicio	timestamp			No	current_timestamp()
6	hora_fin	timestamp			Sí	NULL
7	duracion	time			No	Ninguna
8	energia_consumida	decimal(5,2)			No	Ninguna
9	costo_transaccion	decimal(6,2)			No	Ninguna
10	fin_transaccion	varchar(30)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna

Figura 5.6 Campos de la tabla transacciones.

La tabla cuenta con un id de transacción y un código de transacción porque mientras el primero se usa para identificación por parte del administrador o del cliente, la segunda sirve para que, al

momento de existir una transacción en curso, el servidor identifique cada transacción, ya que en un mismo momento puede haber una o más transacciones en una o más estaciones. Entonces, al momento de que la estación envía “meter values” mientras transcurre una carga, debe enviar el código de transacción para que el servidor actualice la información de esa transacción.

Cuenta también con campos como la hora de inicio y de fin de la transacción, así como la duración de la misma, energía consumida en kWh, el costo de la transacción y el modo de finalización que puede ser:

- Iniciada
- Finalizada exitosamente
- Finalizada por botón de emergencia
- Finalizada con error

Tabla usuarios. - En la tabla de la Figura 5.7 se muestran los campos que almacenan información acerca de los usuarios.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra
<input type="checkbox"/> 1	id_usuario	int(10)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/> 2	cedula	varchar(10)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/> 3	nombres	varchar(30)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/> 4	apellidos	varchar(30)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/> 5	username	varchar(20)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/> 6	password	varchar(100)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna		
<input type="checkbox"/> 7	correo	varchar(50)	utf8mb4_general_ci		No	Ninguna		

Figura 5.7 Campos de la tabla usuarios.

La tabla usuarios cuenta con campos para guardar la información de la persona únicamente, tal y como se muestra en la Figura 5.7. Se puede observar que esta tabla no contiene información de las tarjetas del usuario ya que como ya se mencionó antes, esta información se guarda en la tabla tarjeta_usuario.

5.2 Comunicación entre estación de carga, servidor y navegador web

Luego de tener definida una estructura de datos apropiada, se procede a la implementación del protocolo de comunicación. El protocolo implementado tiene como base OCPP 1.6, el cual basa su funcionamiento en WebSockets y en el formato de texto JSON para el intercambio de mensajes. La razón de preferir usar como base la versión 1.6 sobre la 1.5 de OCPP se detalla a continuación:

- OCPP 1.5 implementa la comunicación a través del método request/response de un entorno web. Bajo este método, cuando una estación realiza una petición request, el

servidor debe enviar una respuesta (response) únicamente a quien hizo la petición (estación). Entonces, aunque la comunicación entre la estación de carga y el servidor se da de manera exitosa, con este método no se puede actualizar la información en tiempo real en los navegadores web.

- Por otro lado, OCPP 1.6 implementa la comunicación a través del modelo de WebSockets. Bajo este modelo, la comunicación la puede iniciar tanto el cliente como el servidor. Esto hace fácil la tarea de mostrar información en tiempo real ya que el servidor ahora es quien decide cuando mostrar la información necesaria en los navegadores web.

5.2.1 WebSocket

WebSocket es un protocolo de red basado en TCP que permite que dos puntos finales de comunicación, como por ejemplo una aplicación web, establezcan un canal de comunicación bidireccional. Esto permite que se puedan intercambiar datos en ambas direcciones al mismo tiempo.

Para que un cliente WebSocket establezca una conexión a un servidor WebSocket, debe iniciar el proceso de apretón de manos o WebSocket Protocol Handshake. Una vez que se envían los datos necesarios en el Handshake y que el servidor acepta la conexión, el canal de comunicación se queda abierto. [63]

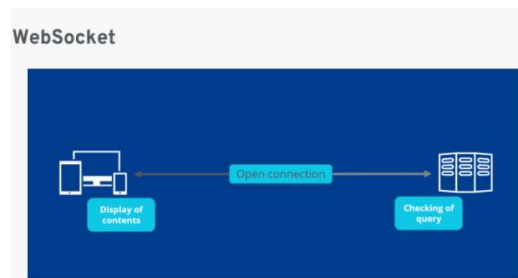


Figura 5.8 Modelo esquemático de conexión de WebSocket [63].

Para realizar el Handshake, el cliente envía una solicitud al servidor, como en HTTP. La solicitud es la siguiente:

- GET /chatService HTTP/1.1
- Host: server.example.com
- Upgrade: websocket
- Connection: Upgrade
- Sec-WebSocket-Key: dGhIHNhbXBsZSBub25jZQ==
- Sec-WebSocket-Origin: <http://example.com>
- Sec-WebSocket-Protocol: chat, superchat
- Sec-WebSocket-Version: 13

A lo cual el servidor responde:

- HTTP/1.1 101 Switching Protocols
- Upgrade: WebSocket
- Connection: Upgrade
- Sec-WebSocket-Accept: s3pPLMBiTxaQ9kYGzzhZRbK+xOo=
- Sec-WebSocket-Protocol: superchat

Finalmente, cabe mencionar que los WebSockets usan un protocolo de comunicación distinto al de http y es debido a esto que en lugar de que las URLs inicien con http o https, inicien con ws o wss para las conexiones sin y con seguridad respectivamente. [63]

5.2.3 Modelo de chat para visualización de información en tiempo real

Una vez que ya se ha establecido usar WebSockets para la comunicación, se explica de qué manera se mostrará la información en tiempo real al usuario. La manera más sencilla de hacer esto es usando el modelo de un chat. Bajo este modelo, cuando un punto final de comunicación quiere enviar un mensaje a otro, éste se comunica primero con el servidor y es el quien decide a cuál o cuáles puntos finales reenviar el mensaje.

En la Figura 5.9 se puede observar el modelo esquemático de cómo funciona una sala de chat. Cuando un pc envía un mensaje, este llega primero al servidor y este reenvía a todos los puntos finales conectados.

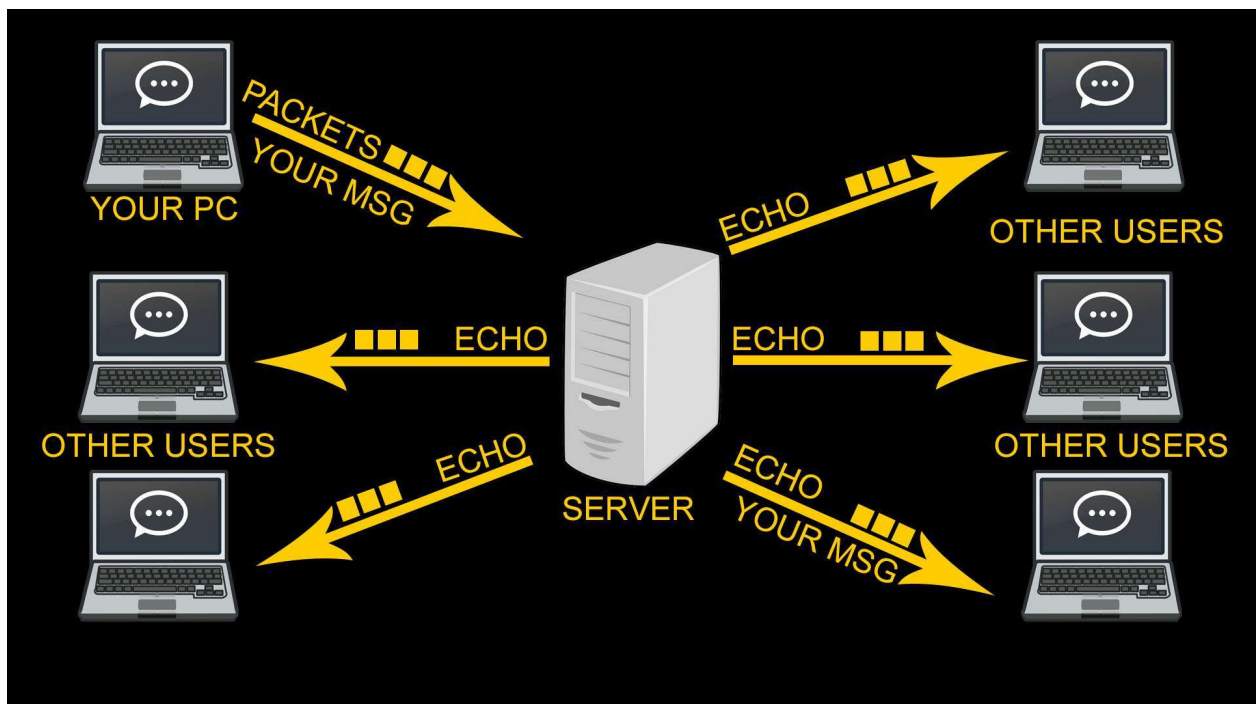


Figura 5.9 Modelo esquemático del funcionamiento de una sala de chat. [65]

El sistema servidor-estaciones tiene el mismo modelo de funcionamiento ya que lo que se desea es que, por ejemplo, cuando un usuario realice una transacción de carga en alguna estación, los valores o mensajes que la estación comunica al servidor, sean estos de tipo autorización, autenticación o meter values, puedan ser “vistos” o “monitoreados” por el usuario que solicitó la transacción a través de un navegador web que tiene abierta su cuenta. También se establece que todas las transacciones en cualquier estación puedan ser monitoreadas por el administrador a través de su cuenta. En este escenario, la estación de carga y el navegador web que tiene abierta la cuenta del usuario o la cuenta del administrador, funcionan como puntos finales de un chat.

5.2.4 Eventos de WebSocket

Para que tanto los clientes (estaciones de carga y navegadores web) como el servidor se puedan comunicar, deben emitir y ponerse a la escucha de eventos y para identificar de que evento se trata, se les debe asignar un nombre. Los eventos que emiten las estaciones son:

- Heartbeat
- solicitar_autorizacion
- solicitar_autenticacion
- iniciando_carga
- cargando
- fin_carga
- solicitar_lista_local
- leer_tarjeta
- adjuntar_tarjeta

Entonces, el servidor está a la escucha de estos eventos y cuando recibe uno, éste realiza dos acciones:

1. A través de un Callback le responde dentro de una estructura JSON los mensajes correspondientes a la estación, como por ejemplo confirmación o negación del proceso de carga.
2. Emite un nuevo evento con el mismo nombre del evento que recibió, pero añade el texto “_html”. Por ejemplo, cuando recibe el evento “cargando”, emite el evento “cargando_html”. Estos eventos son escuchados a través de javascript por cualquier navegador web que tenga una sesión de usuario o administrador válida abierta y entonces se muestra la información correspondiente en tiempo real. Cabe recalcar que la información solo se mostrará a quien corresponda. Por ejemplo, el evento heartbeat que actualiza la hora del mensaje recibido, solo se muestra en la página del administrador. Otro ejemplo es que, si el usuario “Juan” realiza una transacción de carga, los “Meter Values” solo se mostrarán en su cuenta de usuario y la del administrador, más no la de algún otro usuario que tenga una sesión abierta.

Los eventos emitidos por el servidor son:

- Heartbeat_html
- solicitar_autorizacion_html
- solicitar_autenticacion_html
- iniciando_carga_html
- cargando_html
- fin_carga_html
- solicitar_lista_local_html
- leer_tarjeta_html
- adjuntar_tarjeta_html

5.2.5 Rutinas entre estación de carga, servidor y navegador web

Rutina Heartbeat

La rutina heartbeat inicia con la emisión del evento “heartbeat” por parte de alguna estación. Sirve para que la estación de carga le indique al servidor que sigue activa. Este mensaje se envía periódicamente cada 300 segundos y en caso de que no se reciban heartbeats en un periodo de 900 segundos, el servidor decide declarar a la estación como inactiva.

El formato de texto JSON enviado por la estación tiene la siguiente estructura:

- Tipo: heartbeat
- Id: identificador de estación
- Fecha: fecha actual
- Estado: Activa

Cuando el servidor escucha este evento, emite el evento “heartbeat_html”, que será escuchado por el navegador web que tenga abierta una sesión de administrador y entonces usa los datos enviados dentro del JSON para modificar la hora del último heartbeat recibido, entre otros parámetros.

Rutina Carga

Como su nombre lo indica, esta rutina hace referencia al proceso de carga del vehículo eléctrico y está compuesto por varias subrutinas y sus respectivos eventos.

Autorización. – La primera subrutina se inicia emitiendo el evento “solicitar_autorizacion” por parte de la estación en la que un usuario ha solicitado cargar. Entonces, dependiendo del estado de la estación asignado por parte del administrador, que puede ser “autorizada” o “no autorizada”, el servidor responderá a la estación si se le permite o no iniciar la carga.

La estación envía el siguiente texto JSON a través del evento emitido:

- ide: identificador de estación

Y el servidor le responde a través de un callback lo siguiente:

- “sí”, si la estación tiene permiso y “no”, si la estación no tiene permiso.

El servidor también emite el evento “solicitar_autorización_html” y este será escuchado únicamente por un navegador web con una sesión de administrador abierta.

Autenticación. - La segunda subrutina se inicia emitiendo el evento “solicitar_autenticacion” por parte de la estación y sirve para autenticar al usuario o más específicamente, autenticar la tarjeta RFID del usuario que solicita la carga. Si la tarjeta ya se encuentra registrada en la tabla “tarjetas” de la base de datos, su estado es habilitada y además está adjuntada a una cuenta de usuario, el servidor responde a la estación que la tarjeta si puede realizar la carga y envía el saldo que tiene actualmente la misma.

La estructura del texto JSON que envía la estación es:

- ide: identificador de estación
- idt: identificador de tarjeta RFID

Y el servidor le responde a través de un callback lo siguiente:

- mensaje: “sí”, si la tarjeta está habilitada y “no”, si la tarjeta está deshabilitada.
- saldo: El saldo actual de la tarjeta solo si mensaje es igual a “sí”.

El servidor también emite el evento “solicitar_autenticacion_html” y este será escuchado únicamente por un navegador web con una sesión de administrador abierta.

Inicio de carga. - Luego de las subrutinas de autorización y autenticación, la carga se inicia en la estación y esta emite el evento “iniciando_carga”. Cuando el servidor escucha este evento, genera un código aleatorio alfanumérico de 10 caracteres. Este código se envía a la estación y esta guarda el código alfanumérico en el programa en ejecución para que cuando se emita el evento “fin_carga” al servidor, este código esté incluido en el mensaje y de esta manera el servidor pueda identificar de qué transacción se trata, dado que puede haber más de una transacción a la vez.

La estructura del texto JSON que envía la estación es:

- ide: identificador de estación
- idt: identificador de tarjeta RFID
- estado: “carga iniciada”
- potencia: potencia de carga

Y el servidor le responde a través de un callback lo siguiente:

- ctr: código de transacción

El servidor también emite el evento “iniciando_carga_html” y este será escuchado por cualquier navegador web con tenga una sesión de administrador abierta y una sesión de usuario correspondiente al dueño de la tarjeta con la que se inició la carga.

Cargando. – Una vez la carga ha empezado, la estación emite cada 10 segundos el evento “cargando”, a través del cual envía parámetros como la potencia de carga, la energía consumida hasta el momento y el estado de la carga en sí que corresponderá al estado “cargando”. Cabe mencionar que, según la necesidad, se pueden aumentar o disminuir parámetros.

La estructura del texto JSON que envía la estación es:

- ide: identificador de estación
- idt: identificador de tarjeta RFID
- estado: “cargando”
- potencia: potencia de carga
- energía: energía consumida hasta el momento

En este caso el servidor no responde nada a la estación ya que no necesita hacerlo. Por otro lado, emite el evento “cargando_html” y este será escuchado por cualquier navegador web con tenga una sesión de administrador abierta y una sesión de usuario correspondiente al dueño de la tarjeta con la que se inició la carga.

Solicitar fin de carga. – Este evento es emitido por parte de la estación cuando

Fin de carga. – Esta es la última subrutina de la rutina de carga y se tienen 3 distintos tipos de fin de carga.

Escenario de fin de carga 1. – Este escenario se da cuando la persona que inició la carga desea terminarla de manera voluntaria, para lo cual debe solicitar el fin de la misma en la interfaz gráfica de la estación y esta solicitará a la persona que acerque la misma tarjeta con la que solicitó inicialmente la carga. Entonces, la estación emite el evento “solicitar_fin_carga”, enviando el siguiente texto JSON:

- ide: identificador de estación
- idt: identificador de tarjeta RFID

El servidor entonces compara la tarjeta y le responde a la estación a través de un callback “si” si las tarjetas son iguales y “no” si las tarjetas no son iguales.

Entonces, si el servidor responde que, si se permite finalizar la carga, la estación emite el evento “fin_carga” únicamente con el fin de enviar parámetros de información de cómo finalizó la carga.

- ide: identificador de estación
- idt: identificador de tarjeta RFID
- energía: energía total consumida hasta el fin de carga
- ctr: código de la transacción enviado por el servidor al inicio de la carga

- estado: “Finalizada exitosamente”

El servidor no debe responderle nada a la estación en este evento. Solo emite el evento “fin_carga_html” para mostrar información en los navegadores webs.

Escenario de fin de carga 2. – Este escenario se da cuando la estación detecta que el botón de emergencia ha sido presionado. En este caso, la estación no pide permiso al servidor si no que termina de inmediato la carga y solo emite el evento “fin_carga” para enviar parámetros de información de cómo finalizó la carga.

El servidor tampoco responde nada a la estación si no que emite el evento “fin_carga_html” para mostrar información en los navegadores webs.

Escenario de fin de carga 3. – Este último escenario se da cuando la estación detecta que la batería ya se ha cargado por completo y termina la carga automáticamente. En este escenario, tampoco solicita permiso a la estación y solo emite el evento “fin_carga” para enviar parámetros de información de cómo finalizó la carga.

El servidor tampoco responde nada a la estación si no que emite el evento “fin_carga_html” para mostrar información en los navegadores webs.

Rutina lista local

Esta rutina sirve para solicitar la información de la tabla “tarjeta_usuario”, misma en la que se almacena información acerca de los usuarios y sus respectivas tarjetas asociadas, así como el saldo que tienen. La razón de implementar una rutina de lista local se debe a que existe la posibilidad de que la estación se encuentre ubicada en una posición geográfica en la que no tenga acceso a internet o que, debido a algún fallo en la red, físico o lógico, la conexión se pierda y por lo tanto no pueda comunicarse con el servidor. En este caso, para que los usuarios puedan de igual manera realizar transacciones de carga, la estación comprueba la conexión al servidor y si no existe, entonces realiza la transacción, pero haciendo consultas a su base de datos local como por ejemplo si la tarjeta está habilitada y el saldo que tiene.

La rutina inicia con la emisión del evento “solicitar_lista_local” por parte de la estación. Entonces, cuando el servidor escucha este evento, hace una consulta de todos los registros de la tabla “tarjeta_usuario” y responde a la estación a través de un callback todos los registros en forma de un array.

A lo que la estación recibe este array, realiza las comparaciones pertinentes para hacer actualizaciones correctas. El resultado final se almacena en la base de datos local.

5.3 Implementación de Servidor

A continuación, se detallan los conceptos más importantes sobre la implementación del código del servidor o aplicación web.

5.3.1 Herramientas para el desarrollo

5.3.1.1 Node js

Node.js es un entorno de tiempo de ejecución de JavaScript (de ahí su terminación en .js haciendo alusión al lenguaje JavaScript). Este entorno de tiempo de ejecución en tiempo real incluye todo lo que se necesita para ejecutar un programa escrito en JavaScript.

Node.js fue creado por los desarrolladores originales de JavaScript. Lo transformaron de algo que solo podía ejecutarse en el navegador en algo que se podría ejecutar en los ordenadores como si de aplicaciones independientes se tratara. Gracias a Node.js se puede ir un paso más allá en la programación con JavaScript no solo creando sitios web interactivos, sino teniendo la capacidad de hacer cosas que otros lenguajes de secuencia de comandos como Python pueden crear.

Tanto JavaScript como Node.js se ejecutan en el motor de tiempo de ejecución JavaScript V8 (V8 es el nombre del motor de JavaScript que alimenta Google Chrome. Es lo que toma nuestro JavaScript y lo ejecuta mientras navega con Chrome). Este motor coge el código JavaScript y lo convierte en un código de máquina más rápido. El código de máquina es un código de nivel más bajo que la computadora puede ejecutar sin necesidad de interpretarlo primero, ignorando la compilación y por lo tanto aumentando su velocidad. [66]

5.3.1.2 Express

Express es el framework web más popular de Node, y es la librería subyacente para un gran número de otros frameworks web de Node populares. Proporciona mecanismos para:

- Escritura de manejadores de peticiones con diferentes verbos HTTP en diferentes caminos URL (rutas).
- Integración con motores de renderización de "vistas" para generar respuestas mediante la introducción de datos en plantillas.
- Establecer ajustes de aplicaciones web como qué puerto usar para conectar, y la localización de las plantillas que se utilizan para renderizar la respuesta.
- Añadir procesamiento de peticiones "middleware" adicional en cualquier punto dentro de la tubería de manejo de la petición.

A pesar de que Express es en sí mismo bastante minimalista, los desarrolladores han creado paquetes de middleware compatibles para abordar casi cualquier problema de desarrollo web. Hay librerías para trabajar con cookies, sesiones, inicios de sesión de usuario, parámetros URL, datos POST, cabeceras de seguridad y muchos más. [67]

5.3.1.3 Visual Studio Code

Visual Studio Code es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft para Windows, Linux y macOS. Incluye soporte para la depuración, control integrado de Git, resaltado de sintaxis, finalización inteligente de código, fragmentos y refactorización de código. También es personalizable, por lo que los usuarios pueden cambiar el tema del editor, los atajos de teclado y las preferencias. La ventaja principal es que es gratuito y de código abierto. Visual Studio Code se basa en Electron, un framework que se utiliza para implementar Chromium y Node.js como aplicaciones para escritorio, que se ejecuta en el motor de diseño Blink. Aunque utiliza el framework Electron, el software no usa Atom y en su lugar emplea el mismo componente editor (Monaco) utilizado en Visual Studio Team Services (anteriormente llamado Visual Studio Online).

5.3.1.4 Biblioteca Socket IO

Socket.io es una librería en JavaScript para Node.js que permite una comunicación bidireccional en tiempo real entre cliente y servidor. Para ello se basa principalmente en Websocket, pero también puede usar otras alternativas como sockets de Adobe Flash, JSONP polling o long polling en AJAX, seleccionando la mejor alternativa para el cliente justo en tiempo de ejecución. [64]

5.3.1.5 Passport

Passport es un middleware de autenticación para Node.js. Extremadamente flexible y modular, Passport se puede colocar discretamente en cualquier aplicación web basada en Express. Un conjunto completo de estrategias admite la autenticación mediante un nombre de usuario y una contraseña, Facebook, Twitter y más [69].

5.3.2 Estructura de la aplicación

La implementación del servidor se llevó a cabo en el entorno de desarrollo Visual Studio Code y en el entorno de ejecución para JavaScript Node.js. El código de la aplicación cuenta con 4 directorios principales:

- Extras
- Estáticos
- Rutas
- Vistas

Además de los siguientes archivos:

- index.js
- database.js
- credenciales.js

- Sockets.js

Los cuales se describen a continuación.

Directorios extras. - En este directorio se encuentran archivos de configuración como:

- `encryptacion.js`: En este archivo se encuentra el código necesario para la encriptación de las contraseñas ingresadas por las personas que quieren crearse una cuenta. Así mismo, el código para la des encriptación de las contraseñas de los usuarios que desean loguearse para acceder a su cuenta. Este archivo hace uso de la librería “`bcryptjs`”.
- `passport.js`: En este archivo se encuentra el código necesario para el registro tanto del nombre de usuario como de la contraseña de las personas que se crean una cuenta. Así también, el código necesario para la autenticación de los usuarios que se loguean. Este archivo hace uso de la librería “`passport`”.
- `Seguro.js`: Contiene el código para proteger los recursos solicitados al servidor a través de las URLs. Es decir, este código se asegura de mostrar toda la información de la cuenta del usuario únicamente si existe la sesión del usuario como tal abierta. Este código permite que los enlaces “iniciar sesión” y “cerrar sesión” tengan la funcionalidad adecuada.

Directorio estaticos. – En este directorio se encuentran los siguientes subdirectorios:

- `css`: Directorio que contiene los archivos de configuración de los estilos de las páginas web tanto de usuarios como de administrador.
- `Imágenes`: directorio que contiene todas las imágenes y logos mostrados en las páginas tanto de usuarios como de administrador.
- `js`: Este directorio contiene el archivo `main.js`, el cual a su vez contiene todo el código javascript de las páginas tanto de usuarios como de administrador. Este código es el que permite que se pueda dar la funcionalidad de visualizar información en tiempo real a través de la escucha de todos los eventos terminados en “`_html`” y que son emitidos por el servidor, tal y como se explicó en la sección 5.2.5.

Directorio rutas. – En este directorio se almacenan todos los archivos de configuración de las rutas o URLs disponibles en la aplicación y accesibles tanto por los usuarios y el administrador. En otras palabras, estos archivos son los que configuran que recurso se puede consumir a través de un navegador web cuando se ingresa o redirecciona a una URL del servidor.

Por ejemplo, cuando en el servido se escribe la ruta <http://localhost:3000/Tarjetas>, estos archivos deciden que ante esta petición GET, se haga una consulta a la base de datos acerca de todas las tarjetas y que se renderice el archivo “`Tarjetas.hbs`”, para que luego sea enviado el html correspondiente y se pueda visualizar el contenido acerca de las tarjetas en el navegador web en cuestión.



Directorio views. – En este directorio se tienen los archivos con extensión hbs que luego serán renderizados para obtener los archivos HTML que se enviarán desde el servidor hacia el cliente (navegador web) que solicita los mismos. Es aquí donde se encuentran, por así decirlo, todas las páginas visualizadas tanto por los usuarios como por el administrador.

Archivo index.js. – Este archivo contiene el código de configuración del servidor en general. Aquí se realizan las siguientes funciones:

- Se importan todas las librerías que se van a usar
- Se configura el puerto por el que el servidor va a escuchar
- Se configura la renderización de los archivos hbs
- Se configura el middleware para las sesiones de usuario
- Se configuran las variables globales
- Se configuran las rutas de todos los archivos a usar

Archivo database.js. – Contiene el código para establecer la conexión a la base de datos. Este código hace uso del archivo “credenciales.js”, que se describe a continuación.

Archivo credenciales.js. – Contiene un pequeño código con el siguiente formato de texto JSON:

- host
- user
- password
- database

Estos parámetros hacen referencia a las credenciales para la conexión a la base de datos.

Archivo sockets.js. – Contiene el código para configurar las conexiones de WebSocket. Además, aquí se configuran los eventos que el servidor va a escuchar y cuál es la acción que va a realizar ante la escucha de tales eventos, tal y como se explicó en la sección 5.2.4.

5.4 Servidor en la Nube

Para dar una mejor funcionalidad al sistema servidor-estaciones y que no dependa de funcionar únicamente en una red local, se aloja el servidor web en la nube, en la plataforma como servicio Heroku.

5.4.1 Heroku

Heroku es una plataforma en la nube que permite a las empresas construir, entregar, supervisar aplicaciones y alojarlas en la nube. El hecho de que sea una plataforma en la nube significa que como desarrollador no se debe preocupar por la infraestructura, sino que solamente se debe de

centrar en el desarrollo de la aplicación, lo que evita todos los problemas que puede suponer llevar una idea a la URL.

Heroku a diferencia de otras plataformas permite desarrollar prácticamente con cualquier lenguaje de programación: Ruby, Java, PHP, NodeJS, etc. También permite desplegar versiones, hacer rollback, gestionar dependencias.

Heroku dispone los denominados add ons, gracias a los que se puede añadir funcionalidad extra a las aplicaciones de forma realmente sencilla, por ejemplo, memcached, redis, postgres, CleardB, etc.

Registro y Coste

- Para la utilización de la aplicación es necesario registrarse.
- En el caso del coste se tienen dos opciones:
- Registro gratuito: mediante el registro gratuito se puede acceder a las prestaciones básicas, pero no se puede disponer de todas las posibilidades que ofrece esta plataforma.
- Registro con pago: el registro pagado permite acceder a todas las prestaciones de HEROKU.
- También cabe la posibilidad de registrarse de forma gratuita y pagar por aquellas prestaciones que sean necesarias.

Características principales

- En Heroku el código corre siempre dentro de un dyno que es el que proporciona a la plataforma la capacidad de computo, es un proceso que puede usarse para ejecutar contenido web, para ejecutar procesos batch.
- Los dynos garantizan la escalabilidad en caso de que una aplicación se convierta en viral (automáticamente se levantan varios dynos).
- Los Dynos pueden ser de tres tipos: web, worker o cron.
- WEB: se encarga del desarrollo de la aplicación web.
- WORKER: ejecuta la base de datos.
- CRON: se emplea para procesos de corta vida o conexiones Secure Shell (interprete de órdenes seguro).
- Los dynos aíslan de comunidades SSL, enrutamiento o blanqueo.
- Los dynos son transparentes y pueden ser levantados en otras máquinas de manera transparente.
- Heroku es “poliglota”, es decir, Heroku permite la utilización de diferentes lenguajes de programación.
- Heroku internamente se apoya en GitHub, pero no es necesario realizar pagos adicionales.
- A la hora de trasladar cualquier aplicación a Heroku, hay que adaptar cualquier tipo de grabación de fichero a filesystem que se estuviese haciendo, y pasarlo a otros servicios Amazon.

- Las aplicaciones Java en Heroku, no necesitan un contenedor servlets.
- Heroku incluye Logplex, asumiendo que un log es un stream de eventos.

Principales ventajas

- Heroku es gratuito para aplicaciones de poco consumo.
- Permite el uso de diferentes lenguajes de programación.
- Es una plataforma fácil de usar.
- Integra varios servicios dentro de su estructura.
- Las actualizaciones en Heroku no afectan a la plataforma informática.
- Se puede tener acceso desde cualquier lugar y dispositivo compatible con la computación en la nube.

Principales desventajas

- Es necesario contratar un servicio de base de datos externo y un hosting.
- Poca personalización y mínima optimización cuando se requiere más infraestructura (Gratis).
- La disponibilidad de las aplicaciones está limitada a la disponibilidad del acceso a internet. [68]

5.4.2 Almacenamiento de proyecto en la plataforma Heroku.

Para subir el servidor, es mejor que el código esté en su estado final, ya que de lo contrario no se pueden hacer correcciones de los archivos subidos en la nube, si no que se debe modificar de manera local y luego volver a subir el servidor.

El proceso de subir la aplicación se divide en dos partes importantes: La subida del código y la subida de la base de datos. Para esto, se siguen los siguientes pasos.

1. Crearse una cuenta en Heroku

Para que Heroku permita subir aplicaciones a su plataforma, se debe primero crear una cuenta entrando a la siguiente dirección:

- <https://www.heroku.com/>

Entonces, se debe elegir la opción Sign up e ingresar los campos solicitados. En este punto se debe mencionar que todos los comandos mencionados a continuación se ingresarán dentro del directorio que contiene el código final del servidor.

2. Loguearse en Heroku

Una vez creada la cuenta, se debe loguear en Heroku. Para esto se debe abrir el cmd (windows) y escribir el siguiente comando.

- heroku login

Al presionar “enter”, el cmd muestra un mensaje, mismo que se muestra en la Figura 5.10.

```
C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>heroku login
heroku: Press any key to open up the browser to login or q to exit: _
```

Figura 5.10 Comando para loguearse en Heroku.

Entonces, como se observa en la Figura 5.10, se pulsa cualquier tecla a excepción de la letra q (que sirve para cancelar el logueo) y Heroku abre una pestaña en un navegador web, tal y como se muestra en la Figura 5.11.

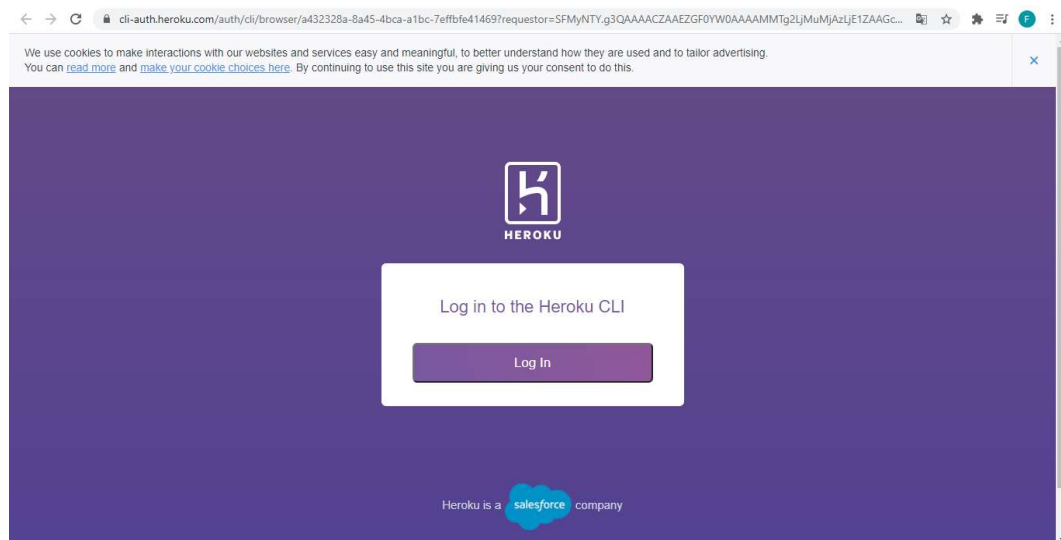


Figura 5.11 Ventana abierta por parte de Heroku en el navegador web Chrome.

Entonces se debe dar clic en el recuadro con el texto “Log In” y si todo ha ido correctamente, se debe obtener un mensaje de login exitoso en el cmd, tal y como se muestra en la Figura 5.12.

```
C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>heroku login
heroku: Press any key to open up the browser to login or q to exit:
Opening browser to https://cli-auth.heroku.com/auth/cli/browser/a432328a-8a45-4bca-a1bc-7effbfe41469?requestor=SFMyNTY.g3QAAACZAAEZGF0YW0AAAAAMMTg2LjMuMjAzLjE1ZAAGc2lnbmVkbG9Ac0TF3YB.auacpMwRdgdP8PGN8TuQPchZ9A5DCZfbAo6a2B5TubU
Logging in... done
Logged in as frank.torres0410@ucuenca.edu.ec

C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>
```

Figura 5.12 Mensaje de confirmación de logueo por parte de Heroku.

3. Establecer un repositorio de git

En este punto se debe ingresar al directorio que contenga el proyecto a subir y establecerlo como repositorio git con los comandos “git init” y “git add.” ingresados uno después de otro, tal y como se indica en la Figura 5.13.

```
C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>git init
Reinitialized existing Git repository in C:/Users/Frank/Desktop/TesisFinal/.git/

C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>git add .

C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>
```

Figura 5.13 Establecimiento del directorio “TesisFinal” como un directorio de git.

4. Crear proyecto en Heroku

Para crear un proyecto u aplicación en Heroku, se ingresa el siguiente comando:

- `heroku create nombre_aplicación`

En el caso de este proyecto, el nombre de la aplicación es “cargate”.

5. Implementar aplicación

Para implementar la aplicación, se ingresa el siguiente comando:

- `git push heroku master`

6. Hacer “commit” de los archivos

Para hacer commit de los archivos, se ingresa el siguiente comando:

- `git commit -am “algún texto”`

Cargar base de datos

Una vez que se ha subido todo el código del servidor, se debe subir también la base de datos ya que Heroku no se podrá conectar a la base de datos local (nuestro pc). Heroku ofrece un complemento “ClearDB” que se puede agregar a la aplicación. Para esto se usa el comando

- `heroku addons: add cleardb:ignite`

Una vez que ya se ha agregado el recurso a la aplicación, se debe exportar la base de datos local. Para esto se debe ingresar a localhost/phpmyadmin, luego seleccionar la base de datos y seleccionar la opción “exportar” y entonces se podrá descargar la base de datos como un archivo con extensión “sql”. Para subir la base de datos, se debe utilizar el siguiente comando.

- `mysql -u user -h host -p database < nombre_base_de_datos_exportada`

En este comando se deben reemplazar los parámetros user, host y database, los cuales son proporcionados por el propio Heroku. Para ver estos parámetros, se debe ingresar a heroku.com y dado que antes ya se ha hecho el proceso de logueo, y que la aplicación ya ha sido creada, se debe obtener una página similar a la siguiente:

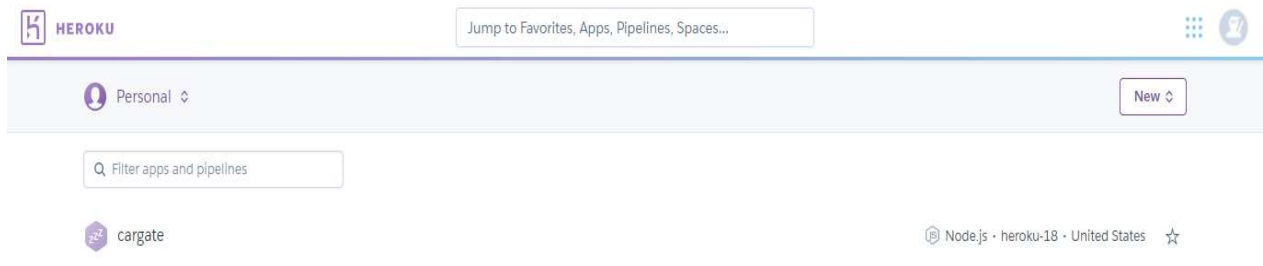


Figura 5.14 Página mostrada por Heroku una vez que se ha hecho el proceso de logueo y de que se ha creado la aplicación previamente.

Entonces, al ingresar en la aplicación “cargate” se obtiene un menú con varias opciones, de entre las cuales se debe seleccionar “Settings”. Se ingresa a esta opción y en la sección “Config Vars” se encuentra la opción “Reveal Config Vars”. Al seleccionar esta opción, se obtiene la información mostrada en la Figura 5.15.

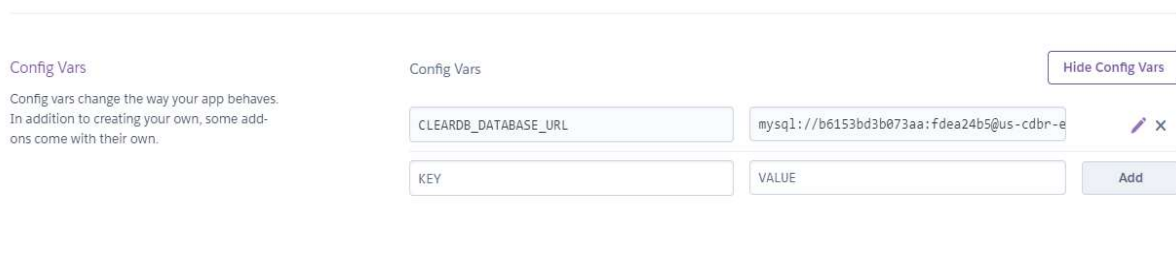


Figura 5.15 Variables de configuración de la aplicación. La única variable de configuración es “CLEARDB_DATABASE_URL”.

Entonces, al copiar el campo “VALUE” de la variable “CLEARDB_DATABASE_URL” se obtiene lo siguiente.

- “mysql://b6153bd3b073aa:fdea24b5@us-cdbr-east-02.cleardb.com/heroku_b844d964f70e53a?reconnect=true”

Al texto de arriba en cursiva, se lo debe separar de la siguiente manera:

- El texto entre la doble barra “//” y el segundo dos puntos “:” es el usuario.
- El texto entre el segundo dos puntos “:” y la arroba “@” es la contraseña
- El texto entre la arroba “@” y la barra simple “/” es el host.
- El texto entre la barra simple “/” y el signo de interrogación “?” es el nombre de la base de datos.

Con esto, los campos son los siguientes:

Usuario = b6153bd3b073aaz

Contraseña = fdea24b5

Host = us-cdbr-east-02.cleardb.com

Nombre en Heroku de la base de datos = heroku_b844d964f70e53a

Y entonces el comando a ingresar queda de la siguiente manera:

- `mysql -u b6153bd3b073aaz -h us-cdbr-east-02.cleardb.com -p heroku_b844d964f70e53a < servidor.sql`

Nota: Este comando debe ser ingresado dentro del directorio en donde se encuentra la base de datos exportada previamente, o en su defecto, en lugar de solo poner el nombre de la base, escribir la ruta completa hacia la misma.

Al ingresar el comando, Heroku solicitará la contraseña. Se ingresa entonces el texto “fdea24b5” y si no ha ocurrido ningún problema, se debe obtener un resultado similar al de la Figura 5.16.

```
C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>mysql -u b27ab2b79b5ec1 -h us-cdbr-east-02.cleardb.com -p heroku_819e456859fee40 < servidor.sql
Enter password: *****
C:\Users\Frank\Desktop\TesisFinal>
```

Figura 5.16 Comando ingresado en cmd de windows para exportar la base de datos a Heroku. Cuando el proceso se ha completado con éxito, no se muestran errores.

Finalmente, se debe modificar el archivo “credenciales.js”, que tenía las credenciales para conectarse a la base de datos en el pc local, con las nuevas credenciales de la base de datos de Heroku. La estructura del texto JSON en el archivo credenciales.js, se convierte entonces en:

```
database: {
  host: 'us-cdbr-east-02.cleardb.com',
  user: 'b6153bd3b073aa',
  password: 'fdea24b5',
  database: 'heroku_b844d964f70e53a'
}
```

5.5 Páginas web para gestión

En cuanto a las páginas webs, se han creado dos entornos: uno para los usuarios y otro para el administrador. Estos se describen a continuación.

5.5.1 Páginas de administrador

Para entrar a la página de administrador, se debe ingresar al siguiente enlace:

- <https://cargate.herokuapp.com/administrador>

Entonces, se obtiene la siguiente página de logueo:



Figura 5.17 Página para logueo de administrador.

Entonces, el administrador debe ingresar sus credenciales y si estas son correctas, se logra ingresar a la siguiente página de inicio.



Figura 5.18 Página de inicio para el administrador.

Como se puede observar en la Figura 5.18, se tiene un menú principal con todas las opciones de administrador, las cuales se describen a continuación.

Estaciones

La sección estaciones tiene las siguientes opciones:

- Información de estaciones
- Estado de estaciones
- Agregar estación

Información de estaciones. – Esta opción muestra toda la información relevante a las estaciones en un formato de tabla. Los campos mostrados son los mismos campos que contiene la tabla “estaciones” de la base de datos. Además, la tabla cuenta con dos opciones por cada estación: una para editar la información, denotada por el ícono de un lápiz y otra para eliminar la estación e información de la misma de la base de datos, denotada por el ícono de un tachó de basura, tal como se muestra en la Figura 5.19.

Información y gestión de estaciones de carga					
Identificador	Código	Nombre	Ubicación	Conector	
1	cs0001	Estación de carga semi rápida Balzay	Campus Balzay de la universidad de Cuenca	j1772	 
2	cs0002	Estación de prueba	Ubicación de prueba	Conector de prueba	 

Figura 5.19 Página web mostrada al ingresar a la subsección “Información de estaciones”.

Si se selecciona la opción editar en la primera estación, por ejemplo, se obtiene lo siguiente.

Edite los campos que desea modificar de la estación

cs0001

Estacion de carga semi rápida Balzay

Campus Balzay de la Universidad de Cuenca

j1772

Actualizar datos de estación

Figura 5.20 Resultados de seleccionar la opción “Editar” en la estación cs0001.

Como se puede observar en la Figura 5.20, se obtiene un formulario con todos los datos editables acerca de la estación. Entonces, al hacer un cambio y seleccionar la opción “Actualizar datos de estación”, los datos se actualizarán.

Estado de estaciones. – El seleccionar esta opción, se obtiene el siguiente resultado.

Monitoreo de estaciones de carga en tiempo real

Identificador de estación	Fecha último mensaje	Estado	acción
1	30.11.2020 15:47:45	Activa	Recibiendo heartbeats
2	24.11.2020 15:41:24	Inactiva	Sin mensajes recibidos

Figura 5.21 Estado de las estaciones según la fecha del último mensaje recibido.

Como se puede observar en la Figura 5.21, la estación 1 se declara como activa en el servidor dado que se ha recibido un mensaje desde ella en los últimos 900 segundos. El tipo de mensaje enviado por parte de la estación fue un heartbeat. Por otro lado, la estación 2 (estación de prueba) está declarada como inactiva dado que el último mensaje recibido fue el 24 de noviembre de este año a las 15:41:24, es decir, hace más de 900 segundos. Esto coincide con el campo acción que indica que no se han recibido ningún tipo de mensaje.

Agregar estación. – Esta opción permite agregar una nueva estación al sistema. En la Figura 5.22 se pueden observar los campos de información solicitados, los cuales coinciden con la información mostrada acerca de las otras estaciones. El código identificador de la estación lo elige el administrador mientras que el identificador de estación es asignado automáticamente por la base de datos dado que este campo es auto incrementable.

Ingrese la siguiente información acerca de la nueva estación

código identificador de estación

Nombre de estación

Ubicación

Tipo de conector

Subir datos de estación

Figura 5.22 Formulario para agregar información sobre una nueva estación al sistema.

Tarjetas

La sección tarjetas tiene dos opciones:

- Información de tarjetas
- Agregar tarjeta

Información de tarjetas. - La primera opción, tal y como su nombre lo indica, muestra información de todas las tarjetas registradas en el sistema.

Información y gestión de tarjetas RFID			
Identificador de tarjeta	Código RFID	Estado	
22	414405827205	habilitada	 
24	921408380536	habilitada	 

Figura 5.23 Información de todas las tarjetas del sistema.

Como se puede observar en la Figura 5.23, la información que se almacena sobre las tarjetas es el identificador (número de tarjeta en la base de datos), el código RFID que lee el lector de las estaciones y el estado que puede ser habilitada o deshabilitada. Al igual que con las estaciones, se cuenta con dos secciones extras para editar la información o eliminar la tarjeta de la base de datos. Al seleccionar la opción editar, se obtiene el formulario mostrado en la Figura 5.24.

Edite los campos que desea modificar acerca de la tarjeta

414405827205

habilitada

Actualizar datos de tarjeta

Figura 5.24 Campos para editar acerca de las tarjetas.

Agregar tarjeta. – Esta opción permite agregar nuevas tarjetas a la base de datos.

Acerque la tarjeta del usuario al lector

código RFID

Estado de tarjeta

Estación en uso

Subir datos de tarjeta

Figura 5.25 Formulario para ingresar una nueva tarjeta a la base de datos.

Como se puede observar en la Figura 5.25, el formulario indica que se debe acercar la tarjeta que se va a agregar al lector de la estación que se tenga a la disposición. En este punto se debe mencionar que se tienen dos opciones para agregar una tarjeta al sistema:

- Conociendo previamente el código RFID y copiándolo en el campo “código RFID”
- Ejecutando un script en cualquier sistema que cuente con un lector de tarjetas RFID. Tal script debe conectarse a través de un WebSocket la dirección: <https://cargate.herokuapp.com> y entonces emitir el evento “leer_tarjeta_html” con los siguientes datos en formato JSON.
- idt: código RFID de tarjeta leída

- ide: identificador de estación en la que se está leyendo la tarjeta (opcional, en caso de ser leída desde una estación).

Entonces, al emitir este evento, el servidor lo escuchará y automáticamente escribirá el código de la tarjeta en el campo “código RFID”. En caso de enviar también un ide, el campo “Estación en uso” se escribirá con esta información.

Luego de llenar este campo, el administrador debe manualmente ingresar el estado de la tarjeta que al tratarse de tarjetas nuevas el estado por defecto es “habilitada”. Con estos datos, ya se puede agregar una nueva tarjeta al sistema.

Usuarios

La sección de usuarios se divide en tres opciones:

- Información de usuarios
- Ver relación tarjeta-usuario
- Agregar usuario

Información de usuarios. - Como su nombre lo indica esta opción permite ver la información de todos los usuarios registrados en el sistema.

Información y gestión de cuentas de usuario						
Identificador de usuario	Cédula	Nombres	Apellidos	Nombre de usuario	Correo electrónico	Tarjetas
38	0705322311	Frank	Torres	frankt	frank.torres0410@ucuenca	1 + ver  
41	0504034159	Luis	Gonzalez	luisg	luisg@ucuenca.edu.ec	0 + ver  

Figura 5.26 Usuarios registrados en la base de datos y su información, además de opciones extras.

Como se puede observar en la Figura 5.26, se tiene un total de dos usuarios registrados. Se indica información relevante sobre la persona en sí y se puede ver cuantas tarjetas tiene el usuario asociadas a su cuenta. En el caso de no poseer ninguna hasta el momento, se puede elegir la opción de agregar tarjeta, denotada por el símbolo + y se obtiene lo siguiente.

Acerque la tarjeta del usuario al lector

código RFID

Estado de tarjeta

Saldo a recargar

Asociar tarjeta a usuario

Figura 5.27 Formulario para adjuntar una tarjeta a un usuario.

Como se puede observar en la Figura 5.27, se despliega un formulario para ingresar información acerca de la tarjeta a asociar con el usuario. Este formulario tiene el mismo funcionamiento ya explicado del formulario para agregar una tarjeta al sistema, solo que en este caso en lugar de tener el campo “estación en uso” se tiene el campo “Saldo a recargar”, el cual debe ser llenado manualmente por el administrador para especificar el saldo que el usuario quiere recargar. La cantidad permitida va desde \$0 hasta \$9999.99.

En este caso, también se puede ejecutar un script en cualquier sistema con un lector de tarjetas RFID. Entonces, luego de que el script lea el código de la tarjeta a adjuntar, debe emitir ahora el evento “adjuntar_tarjeta_html” que será escuchado por el servidor y entonces automáticamente este mostrará el código en el campo “código RFID”.

Se puede simular por ejemplo la asociación de la tarjeta con código RFID “921408380536” a la cuenta del usuario “Luis González” con un saldo inicial de \$50.00. Entonces, al ingresar de nuevo a la opción “información de usuarios” se puede observar en la Figura 5.28 que el usuario “Luis González” ya tiene una tarjeta asociada a su cuenta.

Información y gestión de cuentas de usuario						
Identificador de usuario	Cédula	Nombres	Apellidos	Nombre de usuario	Correo electrónico	Tarjetas
38	0705322311	Frank	Torres	frankt	frank.torres0410@ucuenca	1 + ver ✎ ✖
41	0504034159	Luis	Gonzalez	luisg	luisg@ucuenca.edu.ec	1 + ver ✎ ✖

Figura 5.28 Información de usuarios. El usuario “Luis González” ya tiene una tarjeta asociada a su cuenta.

Luego se puede entrar al enlace “ver” para ver las tarjetas asociadas a la cuenta y sus respectivos saldos. Cabe recalcar que esta opción permite a su vez la recarga de saldo en las tarjetas.

Tarjetas del usuario:	
Código RF	saldo
921408380536	50 <input type="text" value="Ingrese el saldo"/> <input type="button" value="Actualizar saldo"/>

Figura 5.29 Tarjetas asociadas al usuario “Luis González” y opción para recargar saldo.

Relación tarjeta-usuario. - Esta opción permite ver cómo están relacionadas las cuentas de usuario con las tarjetas. Es en esta opción en la que se puede ver el saldo de la tarjeta. La razón de no mostrar el saldo en la sección de solo tarjetas se debe a que se pueden agregar tarjetas al sistema, sin embargo, no necesariamente se deben ingresar con un saldo. Es cuando un usuario desea adquirir una tarjeta (adjuntar tarjeta a su cuenta) cuando se “ingresa” saldo en la tarjeta.

Relación tarjeta usuario			
identificador de tarjeta	Código RF	Identificador de usuario	saldo
10	414405827205	38	57.6
16	921408380536	41	50

Figura 5.30 Tarjetas y su respectiva relación con usuarios.

Como se puede observar en la Figura 5.30, solo se usan los id tanto del usuario como de la tarjeta, con el fin de no sobrecarga la tabla de la base de datos con información irrelevante.

Agregar usuario. – Finalmente se tiene la opción de agregar un nuevo usuario al sistema. Se debe mencionar que también existe una opción para que el propio usuario se cree una cuenta, sin embargo, se mantiene también esta opción en el caso de que el usuario quiera solicitar la creación de la misma al administrador. El formulario se muestra en la Figura 5.31.

Ingrese la siguiente información acerca del nuevo usuario

Número de cédula

Nombres

Apellidos

Nombre de usuario

Contraseña

Correo electrónico

Registrar usuario

Figura 5.31 Formulario para registrar un nuevo usuario en el sistema.

Transacciones

La sección “Transacciones” cuenta con las siguientes opciones:

- Historial de todas las transacciones
- Transacciones en tiempo real

Historial de todas las transacciones. – Esta opción permite ver la información completa de todas las transacciones llevadas a cabo en cualquier estación registrada en el sistema, tal y como se muestra en la Figura 5.32.

Información general de transacciones de todo el sistema										
Número de transacción	Código de transacción	Identificador de estación	Identificador de tarjeta	Fecha	Hora inicio	Hora fin	Duración	Energía consumida [kWh]	Costo de transacción [\$]	Estado de finalización
77	ePYn5N7Y6	cs0001	414405827205	NaN-aN-aN	Thu Nov 19 2020 15:41:26 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)	Thu Nov 19 2020 15:41:26 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)	00:00:03	3.78	0.6	Finalizada exitosamente
78	VRL3DMBisi	cs0001	414405827205	NaN-aN-aN	Thu Nov 19 2020 15:54:56 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)	Thu Nov 19 2020 15:54:56 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)	00:00:03	3.78	0.6	Finalizada exitosamente
79	6igzIEjw9J	cs0001	414405827205	NaN-aN-aN	Thu Nov 19 2020 15:55:09 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)	Thu Nov 19 2020 15:55:09 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)	00:00:03	3.78	0.6	Finalizada exitosamente

Figura 5.32 Transacciones de todo el sistema de estaciones.

Transacciones en tiempo real. – Esta opción permite monitorear en tiempo real las transacciones llevadas a cabo en cualquier estación registrada en el sistema.

Transacciones en tiempo real							
Identificador	Código	Nombre	Estado	Usuario	Tarjeta	saldo	Energía consumida
1	cs0001	Estación de carga semi rápida Balzay	cargando	Frank	414405827205	57.6	5
2	cs0002	Estación de prueba					

Figura 5.33 Monitoreo de transacción realizada por el usuario “Frank” en la “Estación de carga semi rápida Balzay” con la tarjeta de código RFID “414405827205”.

Cuando se monitorea una transacción, se pueden ver también parámetros como el saldo antes de la transacción y la energía actual consumida, tal y como se muestra en la Figura 5.33.

Reservas

La sección reservas solo tiene una opción y es “Ver todas las reservas”. Esta opción permite ver todas las reservas de cualquier usuario en cualquier estación.



Información general de reservas de todo el sistema						
reserva #	Identificador de estación	Identificador de usuario	día	Hora inicio	Hora fin	
37	Estación de carga semi rápida Balzay	Frank Torres	mar 1 de Dic del 2020	8:00	9:00	
38	Estación de prueba	Luis Gonzales	jue 3 de Dic del 2020	20:00	21:30	

Figura 5.34 Información de todas las reservas del sistema.


Como se puede observar en la Figura 5.34, cada reserva tiene la opción de ser eliminada por parte del administrador cuando el caso lo amerite. En el caso de que se elimine una reserva antes de la fecha en la que fue solicitada, el usuario en cuestión perderá la reserva. Si se elimina luego de la fecha solicitada, será simplemente para eliminar información de la base de datos.

5.5.2 Páginas de usuario

Los usuarios pueden ingresar a la siguiente dirección:

- <http://cargate.herokuapp.com>

En la misma obtienen la siguiente página:



The image shows a login page for the Universidad de Cuenca. It features a dark blue background with the university's logo at the top. Below the logo, the text "UNIVERSIDAD DE CUENCA" is displayed. The page has two input fields: "Nombre de usuario" (Username) and "Contraseña" (Password), both with placeholder text "Ingrese su nombre de usuario" and "Ingrese su contraseña" respectively. A red button labeled "Ingresar" (Login) is positioned below the password field. At the bottom, there is a link that says "No tienes una cuenta? [Regístrate](#)" (Don't you have an account? [Register](#)).

Figura 5.35 Página para logueo de usuarios.

Como se puede observar en la Figura 5.35, además de los campos para loguearse, se tiene un enlace con el texto “Register”. Al seleccionar esta opción, se obtiene lo siguiente.



The image shows a registration page for the Universidad de Cuenca. It features a dark blue background with the university's logo at the top. Below the logo, the text "UNIVERSIDAD DE CUENCA" is displayed. The page has a heading "Por favor, ingrese la siguiente información" (Please, enter the following information). Below this heading, there are six input fields: "Número de cédula" (ID number), "Nombres" (First names), "Apellidos" (Last names), "Nombre de usuario" (Username), "Contraseña" (Password), and "Correo electrónico" (Email address). A red button labeled "Registrarse" (Register) is positioned below the email field. At the bottom, there is a link that says "Iniciar sesión" (Login).

Figura 5.36 Página con formulario para registro de usuarios.

En la Figura 5.36 se pueden observar los campos solicitados por la página web al usuario que desea crearse una cuenta. Al momento de llenar todos los campos y seleccionar la opción (Registrarse), automáticamente el sistema registrará los datos y el usuario podrá ahora loguearse seleccionando la opción “Iniciar sesión”.

Página de inicio

Cuando un usuario se loguea, obtiene el siguiente resultado.



Figura 5.37 Página de inicio de usuario logueado.

Como se puede observar en la Figura 5.37, se cuenta con un menú para navegar entre las distintas opciones permitidas para un usuario y se cuenta con un recuadro de información principal. Este recuadro contiene información acerca de las reservas y de las transacciones en curso. Se muestra esta información con el fin de que cada vez que un usuario ingrese recuerde si tiene o no una reserva de carga o si en el caso de ya haber iniciado una carga, pueda monitorearla inmediatamente sin necesidad de navegar entre otras opciones.

Estaciones

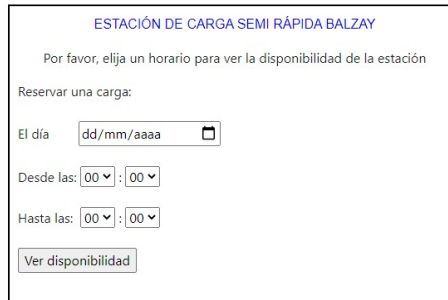
La sección estaciones tiene la opción “ver estaciones”. Al seleccionar la misma se obtiene lo siguiente.



Figura 5.38 Estaciones registradas en el sistema que el usuario puede ver.

Como se observa en la Figura 5.38, el usuario es capaz de ver cuales estaciones están registradas en el sistema, además de información importante como su ubicación y conector. Finalmente, puede observar el estado de la misma para saber por ejemplo si está activa disponible o inactiva en mantenimiento.

Se tiene también el enlace “Reservar carga” en cada estación que, al seleccionarlo, redirecciona a la siguiente página.



ESTACIÓN DE CARGA SEMI RÁPIDA BALZAY

Por favor, elija un horario para ver la disponibilidad de la estación

Reservar una carga:

El día:

Desde las: :

Hasta las: :

Figura 5.39 Formulario mostrado al usuario para reservas de carga.

En la Figura 5.39 se puede observar el formulario que se le presenta al usuario para que haga una reserva de carga. La lógica implementada es la siguiente:

El usuario debe ingresar 3 valores: el día, la hora de inicio y la hora de fin de la reserva.

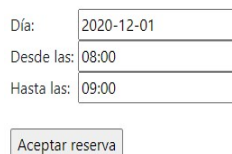
Las reservas solo pueden tener una duración en intervalos múltiplos de 30 minutos.

Una vez que el usuario selecciona un horario tentativo, debe seleccionar la opción “Ver disponibilidad”.

El servidor entonces hace una consulta a su base de datos verificando primero si el intervalo de tiempo seleccionado por el usuario se cruza con algún otro horario de reserva de cualquier usuario en esta estación.

Si no hay cruce de horarios, se muestra en la misma página otro formulario con la fecha y horario de la reserva que el usuario solicitado y entonces debe seleccionar la opción “Aceptar reserva” para que finalmente quede registrada en la base de datos, tal y como se muestra en la Figura 5.40.

Estimado usuario, se ha encontrado la siguiente reserva disponible:



Día:

Desde las:

Hasta las:

Figura 5.40 Formulario mostrado al usuario para que confirme su reserva.

Si el usuario acepta la reserva, se mostrará el siguiente mensaje: “Su reserva se ha realizado con éxito. Por favor, asista a la estación 5 minutos antes”. En este punto, si el usuario vuelve a su página de inicio, podrá ver que tiene una carga reservada, tal y como se muestra en la Figura 5.41.

Estimado usuario, usted tiene las siguientes reservas de carga:			
Estación	Día	A partir de las	Hasta las
Estación de carga semi rápida Balzay	mar 1 de Dic del 2020	8:00	9:00

Figura 5.41 Información mostrada al usuario acerca de las reservas de carga en la página home.

Por otro lado, si el usuario elige un horario y el mismo tiene un cruce con otra reserva ya establecida, se muestra una tabla con todas las reservas cuyo horario se cruce o sea mayor (timestamp) al seleccionado por el usuario, tal y como se muestra en la Figura 5.42.

Estimado usuario, la estación registra reservas en el horario escogido		
Día	Hora inicio	Hora fin
mar 1 de Dic	8:00	9:00
Por favor, elija un horario conveniente		

Figura 5.42 Información mostrada al usuario acerca de las reservas pendientes en la estación seleccionada.

Entonces, al ver la información de las reservas ya registradas, el usuario debe seleccionar un horario libre y entonces al seleccionar la opción “Ver disponibilidad” con el nuevo horario, se mostrará el formulario con el horario tentativo y el usuario solo debe confirmar la reserva.

Transacciones

Dentro de la sección transacciones está la opción “ver mi historial”. Al seleccionar la misma se obtienen datos acerca de las transacciones del usuario tales como la hora de inicio y fin, así como la energía total consumida en [kWh] y el precio de la misma, tal y como se muestra en la Figura 5.43.

Información general de transacciones del usuario								
Número de transacción	Identificador de estación	Identificador de tarjeta	Inicio	Fin	Duración	Energía consumida [kWh]	Costo de transacción [\$]	Estado de finalización
77	cs0001	414405827205	jue 19 de Nov 15:41:26	jue 19 de Nov 15:41:26	00:00:03	3.78	0.6	Finalizada exitosamente
78	cs0001	414405827205	jue 19 de Nov 15:54:56	jue 19 de Nov 15:54:56	00:00:03	3.78	0.6	Finalizada exitosamente
79	cs0001	414405827205	jue 19 de Nov 15:55:9	jue 19 de Nov 15:55:9	00:00:03	3.78	0.6	Finalizada exitosamente
80	cs0001	414405827205	mar 30 de Dic 23:1:3	mar 30 de Dic 23:1:3	00:00:15	25	4	Finalizada exitosamente
81	cs0001	414405827205	mar 30 de Dic 23:1:44	mar 30 de Dic 23:1:44	00:00:15	25	4	Finalizada exitosamente
82	cs0001	414405827205	mar 30 de Dic 23:1:31	mar 30 de Dic 23:1:31	00:00:00	0	0	iniciada
83	cs0002	414405827205	mar 30 de Dic 23:3:0	mar 30 de Dic 23:3:0	00:00:15	25	4	Finalizada exitosamente
84	cs0001	414405827205	mar 30 de Dic 23:3:1	mar 30 de Dic 23:3:1	00:00:14	25	4	Finalizada exitosamente

Figura 5.43 Historial de transacciones del usuario.

Con respecto a la Figura 5.43, se debe mencionar que el precio de cada transacción depende del precio del kWh que el administrador configura.

Tarjetas

La sección tarjetas tiene la opción “Información de tarjetas”, la cual muestra información de las tarjetas asociadas al usuario, como se muestra en la Figura 5.44

Estimado usuario, usted tiene las siguientes tarjetas registradas en su cuenta		
# Tarjeta	Código RF	saldo [\$]
1	414405827205	37.6

Figura 5.44 Información de tarjetas del usuario.

Cabe mencionar nuevamente que, en el caso de necesitar una recarga, el usuario debe comunicarse con el administrador para que sea el quien haga modificaciones en el saldo de la tarjeta.

Finalmente, se tiene la sección “Nombre de usuario”, con el respectivo nombre del usuario dueño de la cuenta con la opción “cerrar sesión”. Esta opción funciona junto con el archivo de configuración “seguro.js”, mencionado en la sección 5.3.2 y sirve para proteger las rutas o páginas webs, mostrándose las mismas únicamente cuando exista una sesión de usuario abierta.

Conclusiones

El desarrollo de la simulación del funcionamiento del sistema de comunicación para el control de una estación de carga de VE bajo el modo 3 en CA ha permitido tener mayor conocimiento en cuanto a lo que se conoce comúnmente como electrolinerías. El estudio presentado abarca un conjunto de simulaciones y pruebas experimentales que permiten el desarrollo de un prototipo, ya que en primer lugar las pruebas de carga se realizaron con cargas en base a resistencias de níquelina que simularon ser la conversión de energía del VE y finalmente las baterías del VE.

La gestión de usuarios se llevó a cabo mediante el uso de tarjetas y un lector RFID. Cada usuario está registrado previamente en una base de datos, gracias a lo cual es posible tener un historial de las cargas que realizan los mismos. Como método de seguridad se implementaron dos bases de datos: una en la nube y otra local como respaldo.

El prototipo de la estación de carga desarrollado en este trabajo de titulación operó correctamente para una potencia de 40 kW a partir de una alimentación de un sistema trifásico con voltaje de línea de 380 VCA, también se han programado sistemas de protección para seguridad del usuario al igual que rutinas de identificación de fallas de las variables eléctricas.

La estación de carga simulado y finalmente desarrollado experimental tienen comportamientos similares de funcionalidad, en ambos se permite la identificación y validación de usuario para finalmente hacer entrega de energía cuantificando el costo del servicio.

Dentro de los modos de carga actualmente utilizado, este estudio se basa en el modo 3 de carga con el conector Mennekes con capacidad de hasta 63 A que presenta un sistema de comunicación para cargar el VE es a través de la señal control piloto, este sistema ha adoptado el mismo sistema de comunicación que el estándar estadounidense SAE J1772.

Dentro de los diferentes elementos que contiene el prototipo de estación de carga de VE desarrollado, se encuentra elementos de control, medición y accionamiento, donde el protocolo Modbus es utilizado principalmente entre el dispositivo medidor de energía y controlador. Los elementos utilizados son debidamente dimensionados logran construir la estación de carga con una parte de componentes del mercado local.

Para el almacenamiento de la base de datos en la nube se usó el servidor gratuito o Paas conocido como Heroku. En esta misma plataforma se introdujo el código tanto para el funcionamiento del protocolo de comunicación, así como para la gestión de las páginas web de usuarios y administrador. El código fue implementado usando como base el protocolo de carga abierto OCPP y herramientas para WebSockets, dado que se puede usar diferentes tecnologías de comunicación, siempre y cuando esta sea compatible con la conectividad TCP/IP. En cuanto a la estructura de los mensajes, se usó OCPP sobre JSON en lugar de OCPP sobre SOAP dado que es más rápido en velocidad de comunicación. Esto se debe a que la estructura de los mensajes JSON es más compacta que la de los mensajes SOAP, además de ser menos compleja. Esto implica también un menor consumo del ancho de banda en la red. Finalmente, desde el punto



de vista económico y de integración de estaciones de carga, OCPP es bastante útil ya que permite que los proveedores no dependan de softwares propietarios y que solo se preocupen de que sus estaciones puedan "hablar" OCPP.

Recomendaciones

Es importante seguir las normas y recomendaciones de infraestructuras VE tanto el estándar europeo IEC como estadounidense SAE, las normas no son obligatorias en ciertos aspectos, pero se tiene un buen punto de partida para desarrollar sistemas de alimentación de VE.

En Ecuador está establecida la resolución denominada: “Modelo de Contrato de suministro para los proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos”, en ella se encuentra los requerimientos para el servicio de carga, infraestructura, equipos, etc., se recomienda seguir los requerimientos de esta resolución ya que en ella se encuentra muchas normativas que se deben cumplir para proveer servicios de carga para VE.

El protocolo OCPP es un protocolo de nivel de aplicación abierto el cual permite a las estaciones de carga y los sistemas conocidos como centrales de gestión de distintos fabricantes comunicar unos con otros, así que en posteriores desarrollos de estaciones se recomienda utilizar este protocolo a fin de poder utilizar con otras estaciones y formar así una red de estaciones.

Anexos

A. Especificaciones del conector de carga de acuerdo a la norma IEC 62196-2

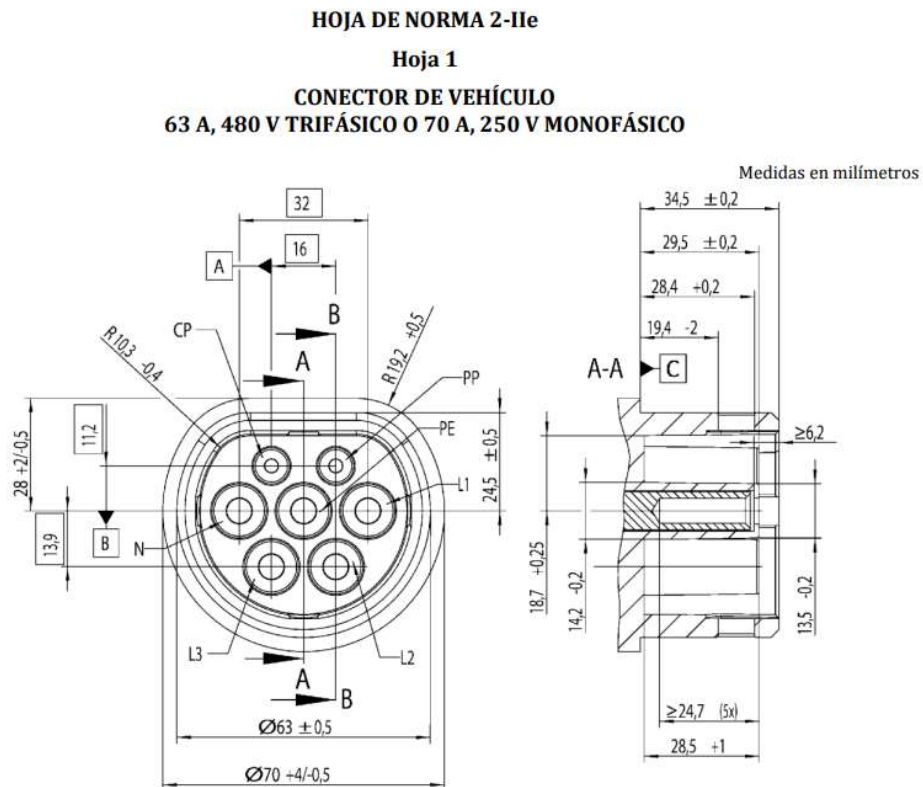


Figura A.1 Dimensiones del conector para el modo 3 de carga bajo el estándar IEC 62196 [7].

B. Tarjeta RFID de acceso al sistema de recarga para VE



Figura B.2 Diseño de la tarjeta RFID

Bibliografía

- [1] H. S. Das, M. M. Rahman, S. Li, and C. W. Tan, “Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, p. 109618, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109618.
- [2] “Byd e5 | BYD Build Your Dreams.” [Online]. Available: <https://bydelectricos.com/byd-e5/>. [Accessed: 08-Dec-2020].
- [3] Y. Xiong, C. C. Chu, R. Gadh, and B. Wang, “Distributed optimal vehicle grid integration strategy with user behavior prediction,” in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2018, vol. 2018-January, pp. 1–5, doi: 10.1109/PESGM.2017.8274327.
- [4] “supercharge.info.” [Online]. Available: <https://supercharge.info/changes>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [5] “CAA National.” [Online]. Available: <https://www.caa.ca/maintenance/ev-map.html>. [Accessed: 28-Aug-2020].
- [6] “UNE-EN IEC 61851-1:2020 Sistema conductivo de carga para vehíc...” [Online]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064113>. [Accessed: 08-Dec-2020].
- [7] “IEC 62196-2:2016 | IEC Webstore.” [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/24204>. [Accessed: 12-Dec-2020].
- [8] G. H. Fox, “Electric vehicle charging stations: Are we prepared?,” *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 19, no. 4, pp. 32–38, 2013, doi: 10.1109/MIAS.2012.2215652.
- [9] S. N. Hewalekar and S. Y. Gadgune, “Progression of smart metering infrastructure for electric vehicle charging stations,” in *Proceedings of the 3rd International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2020*, 2020, pp. 370–375, doi: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214248.
- [10] “IEC 60364-7-722:2018 | IEC Webstore | rural electrification, LVDC.” [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/29958>. [Accessed: 11-Dec-2020].
- [11] “UNE.” [Online]. Available: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0062217>. [Accessed: 30-Aug-2020].
- [12] W. R. Astudillo Astudillo and D. X. Caguana Buele, “UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES Estudio y desarrollo de un prototipo de estación de carga nivel L2 para vehículos eléctricos,” May 2018.
- [13] L. G. González, E. Siavichay, and J. L. Espinoza, “Impact of EV fast charging stations on the power distribution network of a Latin American intermediate city,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 107, pp. 309–318, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.03.017.
- [14] “Mennekes Tipo 2 Coche Eléctrico | Conector IEC 62196.” [Online]. Available: <https://www.lugenergy.com/mennekes-coche-electrico/>. [Accessed: 05-Aug-2020].

- [15] 第电动汽车传导充电用连接装置, “Unofficial English translation offered by EuropElectro, for reference only National Standard of the People’s Republic of China Connection set for conductive charging of electric vehicles-Part 2: AC charging coupler.”
- [16] M. Rata *et al.*, “The Electrical Vehicle Simulator for Charging Station in Mode 3 of IEC 61851-1 Standard,” *Energies*, vol. 13, no. 1, p. 176, Dec. 2019, doi: 10.3390/en13010176.
- [17] “Sådan virker ladeboksen.” [Online]. Available: http://www.danskelbilkomite.dk/Sådan_viker_ladeboksen.html. [Accessed: 31-Aug-2020].
- [18] S. Painuli, M. S. Rawat, and D. R. Rayudu, “A Comprehensive Review on Electric Vehicles Operation, Development and Grid Stability,” in *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control, PEEIC 2018*, 2019, pp. 807–814, doi: 10.1109/PEEIC.2018.8665643.
- [19] “DEPARTMENT OF ENERGY COMMUNICATIONS REQUIREMENTS OF SMART GRID TECHNOLOGIES,” 2010.
- [20] O. van Vliet, A. S. Brouwer, T. Kuramochi, M. van den Broek, and A. Faaij, “Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars,” *J. Power Sources*, vol. 196, no. 4, pp. 2298–2310, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.jpowsour.2010.09.119.
- [21] M. A. S. Masoum, P. S. Moses, and S. Hajforoosh, “Distribution transformer stress in smart grid with coordinated charging of plug-in electric vehicles,” in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2012*, 2012, doi: 10.1109/ISGT.2012.6175685.
- [22] S. Rangaraju, L. De Vroey, M. Messagie, J. Mertens, and J. Van Mierlo, “Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study,” *Appl. Energy*, vol. 148, pp. 496–505, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.121.
- [23] “Hiconics 22kw/43kw Type 2 Ac Charge Point, Ev Charging Station Car Charger - Buy Type 2 Ac Charging Station, Ev Car Charging Station, Iec62196 Ac Ev Charger Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/HICONICS-22kw-43kw-Type-2-AC_62509563049.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.28b93d86g1U0Q3. [Accessed: 29-Aug-2020].
- [24] “China Dc Electric Car Charging Pile/ev Chargers 60kw Ccs2/60kw Chademo/43kw Ac Type 2 Plugs 4g Wifi By Sicon - Buy China Manufacture Ev Fast Charger, 60kw Chademo Ev Charger, Ev Charging Station Ocpp In Car Charger Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/China-DC-Electric-Car-Charging-pile_1600056574380.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.28b93d86g1U0Q3. [Accessed: 29-Aug-2020].
- [25] “Chademo Ccs 50kw Dc Fast Charger Ev Dc Car Charger - Buy Chademo Ccs 50kw, Dc

- Fast Charger, Ev Dc Car Charger Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/chademo-ccs-50kw-dc-fast-charger_62553267176.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.28b93d86g1U0Q3. [Accessed: 29-Aug-2020].
- [26] “200 To 500 V Electric Vehicle Charger, Model No.: Terra 54, | ID: 20442975797.” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/electric-vehicle-charger-20442975797.html>. [Accessed: 29-Aug-2020].
- [27] Y. Kongjeen, W. Junlakan, K. Bhumkittipich, and N. Mithulananthan, “Estimation of the Quick Charging Station for Electric Vehicles based on Location and Population Density Data,” *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 11, no. 3, 2018, doi: 10.22266/ijies2018.0630.25.
- [28] “Dc Fast Charger Ev Supplier 160kw High Power Ev Charging Full Scale Safety Protection - Buy Dc Fast Charger, Electric Car Charging Station, 160kw Ev Quick Charger Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/DC-fast-charger-EV-supplier160KW-high_62547427790.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.47f5147blbZO2D. [Accessed: 30-Aug-2020].
- [29] “Hiconics Ce Certified Ocpp 1.6j Supported Dc 180kw Ccs Fast Ev Charging Station, Double Connectors - Buy Electric Car Charger, Ccs Charging Station, Ev Charging Point Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/HICONICS-CE-Certified-OCPP-1-6J_62365932534.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.47f5147blbZO2D&sp. [Accessed: 30-Aug-2020].
- [30] “60kw Evms Ccs Chademo Ev Charger - Buy Ev Dc Fast Charger, Electric Vehicle Charging Station, Electric Vehicle Rapid Charger Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/60kW-EVMS-CCS-CHAdEMO-EV-Charger_62267069570.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.51c6719doM8kPz. [Accessed: 30-Aug-2020].
- [31] “Powercore Dc Fast Charging Station For Ccs&chademo With Ocpp - Buy Electric Vehicle Charging Station Manufacturers, Ev Battery Charging Station, Besen Ev Charging Station Product on Alibaba.com.” [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/POWERCORE-DC-fast-charging-station-for_62013015548.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5f211adekDyZDL. [Accessed: 30-Aug-2020].
- [32] “Tipos de batería para coche eléctrico - Electromovilidad.” [Online]. Available: <http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>. [Accessed: 31-Aug-2020].
- [33] “El Nissan LEAF de 62 kWh tendrá una versión más económica este verano | forococheselectricos.” [Online]. Available: <https://forococheselectricos.com/2019/03/el-nissan-leaf-de-62-kwh-tendra-una-version-mas-economica-este-verano.html>. [Accessed:

- 31-Aug-2020].
- [34] A. Ayob *et al.*, “Review on electric vehicle, battery charger, charging station and standards,” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 7, no. 2. Maxwell Science Publications, pp. 364–373, 2014, doi: 10.19026/rjaset.7.263.
 - [35] Y. Kongjeen, W. Junlakan, K. Bhummkittipich, and N. Mithulananthan, “Estimation of the quick charging station for electric vehicles based on location and population density data,” *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 11, no. 3, pp. 233–241, 2018, doi: 10.22266/IJIES2018.0630.25.
 - [36] “Modos de carga (IEC-61851-1).” [Online]. Available: <http://circuitos.es/es/formacion/vehiculo-electrico/modos-de-carga-iec-61851-1>. [Accessed: 10-Sep-2020].
 - [37] P. Phonrattanasak, “Optimal Location of Fast Charging Station on Residential Distribution Grid.” .
 - [38] “¿Qué es Raspberry Pi? - Curso de introducción a Raspberry Pi.” [Online]. Available: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/232-curso-de-introduccion-a-raspberry-pi/que-es-raspberry-pi>. [Accessed: 14-Sep-2020].
 - [39] Pravin Kumar Sinha, “Raspberry Pi 3 Hardware and System Software Reference,” 2017. [Online]. Available: <https://www.codeguru.com/IoT/raspberry-pi-3-hardware-and-system-software-reference.html>. [Accessed: 14-Sep-2020].
 - [40] “MODULO RELAY ARDUINO 2 CANALES 5V 10A OPTOACOPLADO ★ Starware.” [Online]. Available: <https://tienda.starware.com.ar/producto/modulo-relay-arduino-2-canales-5v-10a-optoacoplado/#&gid=1&pid=2>. [Accessed: 14-Sep-2020].
 - [41] “Módulo RFID RC522 13.56MHz | MCI Electronics.cl.” [Online]. Available: <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/modulo-rfid-rc522-13-56mhz-25340>. [Accessed: 14-Sep-2020].
 - [42] “Módulo PL2303 Convertidor USB a serial TTL.” [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/40-modulo-pl2303-conversor-usb-a-serial-ttl.html>. [Accessed: 14-Sep-2020].
 - [43] “Convertidor de USB a RS485.” [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/230-conversor-usb-rs485.html>. [Accessed: 14-Sep-2020].
 - [44] “CONTACTOR 25A AC3 7.5HP 220VAC – Super Eléctrico.” [Online]. Available: <https://www.superelectrico.com/producto/contactor-25a-ac3-7-5hp-220vac/>. [Accessed: 15-Sep-2020].
 - [45] “F360 Interruptores Automáticos Diferenciales | ISO9001: 2000 | Camsco Electric.” [Online]. Available: <https://www.camsco.com.tw/spa/circuit-breakers/f360-earth-leakage-circuit-breaker.html>. [Accessed: 29-Oct-2020].
 - [46] “¿Cuál es la diferencia entre las normas IEC 60898-1 y IEC 60947-2?” [Online].

- Available: <https://www.se.com/es/es/faqs/FA376994/>. [Accessed: 19-Sep-2020].
- [47] “Miniature Circuit Breakers Shanghai Ebasee Electric Co.,Ltd circuit breaker/SPD/RCD/Consumer unit/ Motor protector/EBASEE Electric protection.” [Online]. Available: http://www.ebasee.com/en/product_list_6_1.html. [Accessed: 19-Sep-2020].
- [48] G. Francisco Martínez, Á. Andrés, E. Medina Velecela, M. E. Efraín, and O. Figueroa, “UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO SNMP PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE NODOS DE LA EMPRESA ETAPA EP AUTORES.”
- [49] “MFO Multi-Mount Current Transformer - Camsco Electric Co., Ltd.” [Online]. Available: <https://www.camsco.com.tw/current-coil/mfo-multi-mount-current-transformer.html>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [50] “SELEC MFM376 SERIES OPERATING INSTRUCTIONS Pdf Download | ManualsLib.” [Online]. Available: <https://www.manualslib.com/manual/1489306/Selec-Mfm376-Series.html>. [Accessed: 20-Sep-2020].
- [51] “What is Python? Executive Summary | Python.org.” [Online]. Available: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [52] “Qt Designer Download for Windows and Mac.” [Online]. Available: <https://build-system.fman.io/qt-designer-download>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [53] “MySQL :: Servicio de base de datos MySQL.” [Online]. Available: <https://www.mysql.com/cloud/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [54] “Que es el protocolo Modbus RTU.” [Online]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/Modbus.php>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [55] “OZEKI - Frame format Modbus RTU.” [Online]. Available: http://www.ozeki.hu/p_5854-ozeki-modbus-rtu.html. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [56] “Conceptos básicos de la comunicación UART.” [Online]. Available: <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>. [Accessed: 22-Sep-2020].
- [57] “4.-DESEQUILIBRIO DE TENSIONES.”
- [58] “Qué es y cómo funciona un interruptor diferencial – Cable Norte Bolivia SRL.” [Online]. Available: <https://cablenortesrl.com/2018/08/07/que-es-y-como-functiona-un-interruptor-diferencial/>. [Accessed: 09-Nov-2020].
- [63] “¿Qué es WebSocket?.” [Online]. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/que-es-websocket/>. [Accessed: 5-Nov-2020].
- [64] “Socket.io: Comunicación bidireccional en tiempo real para JavaScrip.” [Online]. Available: <https://hipertextual.com/archivo/2014/08/socketio-javascript/>. [Accessed: 5-Nov-2020].



- [65] “How Does Chat Work?.” [Online]. Available: <https://www.lifewire.com/how-does-chat-work-1949446>. [Accessed: 22-Nov-2020].
- [66] “Qué es NodeJS y para qué sirve.” [Online]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-nodejs/>. [Accessed: 09-Nov-2020]
- [67] “Introducción a Express/Node” [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/Express_Nodejs/Introduction. [Accessed: 5-Nov-2020].
- [68] “Heroku – Una plataforma para la creación de aplicaciones” [Online]. Available: <https://estebanromero.com/herramientas-emprender-desarrollar-proyectos/heroku-una-plataforma-para-la-creacion-de-aplicaciones/>. [Accessed: 5-Nov-2020].
- [69] “passport” [Online]. Available: <http://www.passportjs.org/>. [Accessed: 5-Nov-2020].